

TUGAS AKHIR - TM 141585

RANCANG BANGUN ALAT PRAKTIKUM *HEAT EXCHANGER* TIPE *COMPACT TUBE BANKS*

Mochammad Fuad Ermansyah
NRP 2110 100 014

Dosen Pembimbing
Ary Bachtiar K. P., ST., MT., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR – TM141585

**RANCANG BANGUN ALAT PRAKTIKUM HEAT
EXCHANGER TIPE COMPACT TUBE-BANKS**

MOCHAMMAD FUAD ERMANSYAH
NRP. 2110100014

Dosen Pembimbing:
Ary Bachtiar K. P., ST., MT., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TM141585

**DESIGN PRACTICUM DEVICE OF TUBE-BANKS
COMPACT HEAT EXCHANGER**

MOCHAMMAD FUAD ERMANSYAH
NRP. 2110100014

Advisory Lecturer
Ary Bachtiar K.P., ST., MT., PhD

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017

**RANCANG BANGUN ALAT PRAKTIKUM HEAT EXCHANGER TIFE
COMPACT TUBE BANKS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOCHAMMAD FUAD ERMANSYAH
NRP. 2110 100 014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ary Bachtiar K.P, ST, MT, Ph.D..... (Pembimbing)
(NIP. 197105241997021001)
2. Prof. Dr. Eng Prabowo, M.Eng..... (Penguji 1)
(NIP.196505051990031005)
3. Bambang Arip D, ST, M.Sc, Ph.D..... (Penguji II)
(NIP.197804012002121001)

SURABAYA
Januari 2017

RANCANG BANGUN ALAT PRAKTIKUM *HEAT EXCHANGER* TIPE *COMPACT TUBE-BANKS*

Nama : Mochammad Fuad Ermansyah
NRP : 2110100014
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ary Bachtiar K.P S.T M.T, PhD.

Perkuliahan di jurusan Teknik Mesin ITS berdasarkan pada laboratory based education. Laboratorium merupakan tempat pengembangan mahasiswa untuk menerapkan ilmu yang telah didapat pada proses belajar-mengajar. Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas merupakan laboratorium yang memfasilitasi mahasiswa untuk melakukan pengujian dan penelitian alat penukar panas (heat exchanger). Laboratorium seharusnya menyediakan berbagai alat pengujian heat exchanger. Saat ini di jurusan Teknik Mesin ITS masih belum tersedia perangkat praktikum uji performa compact heat exchanger. Oleh sebab itu diperlukan sebuah rancang bangun perangkat uji performa compact heat exchanger guna praktikum dan penelitian mahasiswa.

Rancangan alat praktikum dibagi menjadi beberapa bagian yaitu rancangan instrumen pengukur fenomena fisik dengan data akuisisi arduino, windtunnel, kalibrasi instrumen, pengujian kebocoran heat exchanger dan spesifikasi peralatan penunjang operasi kerja. Pengujian heat exchanger disesuaikan dengan standar SNI 09-0605-1989 “Cara uji kemampuan melepas panas radiator”. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara di dalam terowongan angin sebesar 3.2 m/s, 1,6 m/s dan 0,8 m/s serta debit thermal oil sebesar 20 lpm, 15 lpm, dan 12 lpm pada suhu konstan 80°C. Analisis performa heat exchanger menggunakan metode Number of Unit Transfer.

Dari hasil perancangan didapatkan sebuah perangkat windtunnel dengan dimensi panjang 1,2 meter, tinggi 0,5 meter,

dan lebar 0,5 meter. Perangkat praktikum compact heat exchanger menggunakan sistem data akuisisi arduino dengan termokopel tipe K sejumlah 24 buah sebagai sensor suhu. Hasil pengujian heat exchanger didapatkan besar perbedaan laju perpindahan panas antara aliran fluida panas dan dingin tidak lebih dari 10%, nilai perpindahan panas terbesar pada variasi debit oli 20 liter/menit dengan kecepatan udara 3,2 m/s yaitu sebesar 4,29 kW, nilai overall heat transfer coefficient terbesar pada variasi debit oli 20 liter/menit dengan kecepatan udara 3,2 m/s yaitu sebesar 111,13 W/K, effectiveness tertinggi pada variasi II yaitu sebesar 17,1 %, nilai pressure drop terbesar aliran oli dan udara pada variasi debit oli 20 Liter/menit dan kecepatan udara 3,2 m/s yaitu sebesar 4,3 kPa dan 20 Pa.

Kata kunci: Perangkat uji compact heat exchanger, uji performa.

DESIGN PRACTICUM DEVICE OF TUBE-BANKS COMPACT HEAT EXCHANGER

Name : Mochammad Fuad Ermansyah
Studen Id : 2110100014
Major : Teknik Mesin FTI-ITS
Academic Supervisor : Ary Bachtiar K.P S.T M.T, PhD.

Lectures at the Department of Mechanical Engineering ITS based on laboratory based education. Laboratory is developing a student to apply the knowledge that has been gained in the teaching-learning process. Laboratory of Thermodynamics and Heat Transfer is a laboratory that facilitates students to do the testing and research of heat exchangers (heat exchanger). Laboratory testing should provide a variety of heat exchangers. Currently in the Department of Mechanical Engineering of ITS is still not available test lab device performance compact heat exchanger. Therefore necessary a plan to build the test device performance compact heat exchangers for student practicum and research.

The design device lab is divided into several parts, namely the design of instruments measuring physical phenomena with data acquisition arduino, windtunnel, instrument calibration, leak testing heat exchangers and equipment specifications supporting work operations. Testing heat exchanger adapted to SNI 09-0605-1989 standard "test method for removing the ability of the heat radiator". Testing is done by varying the speed of the airflow in a wind tunnel of 3.2 m / s, 1.6 m / s and 0.8 m / s as well as thermal oil flow of 20 lpm, 15 lpm and 12 lpm at a constant temperature of 80 ° C. Analysis of the performance of the heat exchanger using the Number of Transfer Unit.

From the results obtained a device windtunnel design with dimensions of 1.2 meters long, 0.5 meters high and 0.5 meters wide. Lab devices compact heat exchanger using a data acquisition system with thermocouple type K arduino number of

24 pieces as a temperature sensor. The test results obtained heat exchanger large differences in rates o

f heat transfer between hot and cold fluid flow is not more than 10%, the largest value of heat transfer on the variation of discharge of oil 20 liters / min with air velocity of 3.2 m / s is equal to 4.29 kW, the value of overall heat transfer coefficient of variation biggest oil discharge 20 liters / min with air velocity of 3.2 m / s in the amount of 111.13 W / K, the highest effectiveness in the second variation in the amount of 17.1%, the biggest drop of the pressure value of oil flow and air in the oil discharge variation 20 Liter / min and air speed of 3.2 m / s is equal to 4.3 kPa and 20 Pa.

Keywords: heat exchanger compact test device, test performance.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, Tuhan Maha Pengasih Maha Penyayang, karena atas segala nikmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat dan salam penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa cahaya keimanan dan agama Islam sebagai pedoman kehidupan untuk selalu bertaqwa dan beriman kepada Allah SWT.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada halaman ini, penulis ingin memberi hormat dan ungkapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibuku tercinta, Kusmuniyati yang selalu mendukung, memberikan kasih sayang, dan tak henti-hentinya mendoakan penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini. Terima kasih ibunda atas segalanya
2. Ayahku tercinta, Moch Sholeh yang selalu mendukung, menasehati, mengarahkan, dan mendoakan penulis. Terima kasih ayah untuk semuanya
3. Kakak dan adik saya tercinta, Mas Rizal, Nur Annisa Istiqomah dan Moch Ilham afif selalu mendukung, dan mendoakan penulis.
4. Ary Bachtiar K. P, ST, MT, PhD, selaku dosen pembimbing tugas akhir sekaligus dosen wali yang telah memberikan ide, pembelajaran dan pengetahuan yang tidak ternilai harganya bagi penulis untuk memberikan hasil yang bermanfaat
5. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME, Bambang Arip D, ST, M.Sc, Ph.D, Prof. Dr. Eng Prabowo, M.Eng., sebagai dosen penguji tugas akhir sekaligus reviewer pomits yang telah memberikan kritik dan saran terhadap penulis dan memberikan pembelajaran kepada penulis

6. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah mencurahkan segala tenaga dan pikiran serta pengalaman dalam mendidik penulis dalam bidang keteknikan maupun ilmu tentang kehidupan selama penulis menempuh pendidikan sarjana di Teknik Mesin ITS
7. Seluruh keluarga besar penulis yang tak henti mendukung, menyemangati, dan mendoakan penulis selama perkuliahan
8. Seluruh keluarga M53 dan M54 yang telah menemani penulis dari POROS hingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan.
9. Mbeng, Sekar, Bobby, Botel, Ridho, Bramantya, Raymond dan Sandy yang sudah banyak membantu kelancaran proses Tugas akhir ini terima kasih.
10. Keluarga Lab.Perpindahan Panas yang selalu membantu dan menghibur penulis selama mengerjakan tugas akhir di lab. Semoga kesuksesan selalu menyertai kita
11. Seluruh pihak civitas akademika Teknik Mesin FTI ITS dan Sarekat Merah Rakyat Mesin

Penulis berharap agar tugas akhir ini bermanfaat untuk pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan ke depannya.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Surabaya, 17 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
 BAB I	 1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
 BAB II	 5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perangkat Uji (<i>Test Rig</i>).....	5
2.2 <i>Wind Tunnel</i>	5
2.3 Termokopel.....	7
2.4 Akuisisi Data.....	8
2.5 <i>Compact Heat Exchanger</i>	9
2.6 Analisa Perpindahan Panas.....	10
2.6.1 Perpindahan Panas Aliran Sisi Dalam <i>Tube</i>	10
2.6.2 Perpindahan Panas Aliran Sisi Luar <i>Tube</i>	11
2.7 Penurunan Tekanan (<i>Pressure Drop</i>).....	12
2.7.1 Penurunan Tekanan pada Sisi Dalam <i>Tube</i>	12
2.7.2 Penurunan Tekanan pada Sisi Luar <i>Tube-banks staggered Heat Exchanger</i>	13
2.8 Uji Performa.....	15

2.8.1 Analisis Alat Penukar Panas dengan Metode <i>Number of Transfer Unit</i> (NTU)	15
2.9 Penelitian Terdahulu	19
BAB III	25
METODOLOGI	25
3.1 Umum.....	25
3.2 <i>Flowchart</i> Penelitian	26
3.3 Uji Kebocoran	27
3.4 Kalibrasi Termokopel.....	27
3.5 <i>Flowchart</i> Uji Kebocoran	28
3.6 <i>Flowchart</i> Kalibrasi Termokopel.....	31
3.7 Objek Pengujian.....	33
3.8 Skema Instalasi Peralatan.....	36
3.9 <i>Flowchart</i> Pengujian	38
3.10 Peralatan Penelitian	40
3.10.1 <i>Windtunnel</i>	40
3.10.2 KTA-259 K <i>Thermocouple Shield</i>	40
3.10.3 <i>Arduino</i> Mega 2560	41
3.10.4 Kipas	42
3.10.5 Anemometer.....	44
3.10.6 <i>Pressure Gauge</i> (Udara)	44
3.10.7 Elemen Pemanas (Heater).....	45
3.10.8 Termostat	46
3.10.9 Pompa Oli	46
3.10.10 <i>Flowmeter</i> Oli	48
3.10.11 <i>Pressure Gauge</i> (Oil).....	49
3.11 <i>Flowchart</i> Perhitungan Uji Performa Heat Exchanger ...	51
BAB IV	55
HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Perancangan <i>Wind Tunnel</i>	55
4.2 Data Hasil Pengujian.....	56
4.3 Contoh Perhitungan.....	57
4.3.1 Menghitung <i>Balance Energy</i>	57
4.3.2 Menentukan Overall Heat Transfer Coefficient.....	58

4.3.3 Menentukan Q_{maks}	59
4.3.4 Menghitung <i>Capacity Ratio</i>	59
4.3.5 Menghitung Overall Heat Transfer Coefficient.....	59
4.3.6 Menghitung <i>Effectiveness</i>	60
4.3.7 Menghitung <i>Pressure Drop</i>	60
4.4 Analisa Hasil Pengujian	63
4.4.1 Analisa Pengaruh Jarak Lintasan Terhadap Suhu.....	63
4.4.2 Analisa Perbedaan temperatur udara vs Kecepatan udara	65
4.4.3 Analisa pengaruh kecepatan terhadap Laju perpindahan panas	66
4.4.4 Analisa Pengaruh Setiap Variasi Terhadap <i>Overall</i> <i>Heat Transfer</i>	68
4.4.5 Analisa Perbandingan Nilai <i>Pressure Drop</i> Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Udara.....	69
4.4.6 Analisa Perbandingan <i>Pressure Drop</i> Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Oli.....	70
4.4.7 Analisa <i>Effectiveness</i> terhadap fungsi Number of Transfer Unit dan <i>Capacity Ratio</i>	71
BAB V	75
KESIMPULAN dan SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Compact heat exchanger</i> produksi PT. Guntner Indonesia.....	2
Gambar 2.1 Wind Tunnel.....	7
Gambar 2.2 Bagian Termokopel.	8
Gambar 2.3 Grafik koefisien Seebeck berbanding suhu	8
Gambar 2.4 Diagram proses akuisisi data.	9
Gambar 2.5 Perpindahan panas aliran sisi dalam <i>tube</i> . ^[2]	11
Gambar 2.6 Susunan tube tipe staggered. ^[2]	14
Gambar 2.7 Distribusi suhu untuk arah aliran <i>counter</i> . ^[2]	16
Gambar 2.8 Hubungan antara P dan R dengan F (<i>correction factor</i>) ^[3]	17
Gambar 2.9 Geometri dari susunan staggered tube bank pada eksperimen M. M. Yovanovich, et. Al (2005).....	19
Gambar 2.10 Grafik perbandingan angka Nusselt dan angka Reynolds terhadap perbandingan jarak Longitudinal (<i>SL</i>) dan jarak Transversal (<i>ST</i>)	20
Gambar 2.11 Grafik peningkatan angka nusselt dan angka Reynolds terhadap perbandingan jarak Longitudinal (<i>ST</i>) dan jarak Transversal (<i>ST</i>) tertentu	20
Gambar 2.12 Grafik peningkatan angka Nusselt dan angka Reynolds terhadap perbandingan jarak Longitudinal (<i>ST</i>) dan jarak Transversal (<i>ST</i>) tertentu (dari penelitian terdahulu).	21
Gambar 2.13 Aliran melintang susunan 4row tube bank	22
Gambar 2.14 Distribusi Nusselt Number Terhadap titik – titik (sudut tumbuk aliran pada susunan tube staggered..	22
Gambar 2.15 Kalibrasi dilakukan pada bejana yang berisi air.	25
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	27
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Uji Kebocoran.....	31
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Kalibrasi Termokopel	33
Gambar 3.5 Titik pengambilan data suhu.....	35
Gambar 3.6 Segmen pengambilan data.....	36

Gambar 3.7 Skema perangkat penguji : A. Windtunnel, B. Siklus perjalanan oli.....	37
Gambar 3.8 Flowchart pengambilan data.....	40
Gambar 3.9 Windtunnel	41
Gambar 3.10 KTA-259 K <i>Thermocouple Shield</i>	42
Gambar 3.11 Arduino Mega 2560.....	42
Gambar 3.12 Kipas EBM S4E 350 AA06-50.....	44
Gambar 3.13 Anemometer	44
Gambar 3.14 Dwyer <i>Pressure Gauge</i>	45
Gambar 3.15 Elemen Pemanas	46
Gambar 3.16 Termostat Autonics type T3S-B4RK-4C.....	47
Gambar 3.17 Cara kerja Gear Pump.....	48
Gambar 3.18 Gear Pump Koshin GC 20	48
Gambar 3.19 Flowmeter oli.....	49
Gambar 3.20 Pressure Gauge Tipe Bourdoun Tube	50
Gambar 3.21 <i>Flowchart</i> perhitungan dengan Uji Performa <i>Heat Exchanger</i>	53
Gambar 4.1 <i>Wind tunnel</i>	55
Gambar 4.2 Grafik Suhu Fungsi Jarak variasi Debit	63
Gambar 4.3 Grafik suhu fungsi jarak variasi kecepatan udara.	64
Gambar 4.4 Pengaruh kecepatan udara terhadap perbedaan temperature udara.....	64
Gambar 4.5 Pengaruh kecepatan udara terhadap laju perpindahan panas udara.....	66
Gambar 4.6 Grafik Overall Heat Transfer pada Setiap Variasi.	67
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Pressure Drop Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Udara	69
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Pressure Drop Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Oli	69
Gambar 4.9 Grafik Effectiveness berbanding nilai Capacity Ratio dan Number of Unit Transfer.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Pembacaan Termokopel	23
Tabel 3.1 Dimensi <i>Compact Heat Exchanger</i> tipe <i>Tube-banks staggered</i>	33
Tabel 4.1 Variasi Pengujian.....	55
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkuliahan di jurusan Teknik Mesin ITS berdasarkan pada *laboratory based education*. Laboratorium merupakan tempat pengembangan mahasiswa untuk menerapkan ilmu yang telah didapat pada proses belajar-mengajar. Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas merupakan wadah kegiatan mahasiswa untuk melakukan praktikum, pengujian, dan penelitian alat penukar panas (*heat exchanger*). Kegiatan praktikum yang dilakukan bertujuan untuk menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa tentang perpindahan panas. Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang cara perpindahan (distribusi) energi berupa panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu. Perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Heat exchanger dalam klasifikasinya dibagi menjadi berbagai macam, salah satunya adalah *compact heat exchanger* tipe *tube-bank staggered*.

Saat ini di jurusan Teknik Mesin ITS masih belum tersedia alat praktikum uji performa *compact heat exchanger*. Uji performa sangat dibutuhkan untuk mengetahui distribusi suhu, laju perpindahan panas, dan besar efektifitas dari sebuah *compact heat exchanger*. Efektifitas dari sebuah *compact heat exchanger* ditentukan oleh besar perpindahan panas aktual dibandingkan dengan besar perpindahan panas maksimum yang dapat terjadi. *Compact heat exchanger* produksi PT. Guntner Indonesia yang terdapat di jurusan Teknik Mesin ITS belum dapat di uji performanya, karena belum adanya panduan dan alat uji performa *compact heat exchanger* tersebut. Rangkaian uji performa dari *compact heat exchanger* tersebut membutuhkan tahap persiapan alat uji, kelayakan alat uji, tahap pengambilan data dan pengolahan data.

Tugas akhir ini akan membahas mengenai rancang bangun perangkat uji performa (*test rig*). *Test rig* yang akan

dirancang disesuaikan dengan standar SNI 09-0605-1989 “Cara uji kemampuan melepas panas radiator”. Perangkat uji performa *Compact heat exchanger* tersebut diharapkan dapat berfungsi sebagai penunjang praktikum dan perkuliahan agar dapat dikembangkan ke depannya.



Gambar 1.1 *Compact heat exchanger* produksi PT. Guntner Indonesia

1.2 Rumusan masalah

Tugas akhir ini membahas tentang rancang bangun perangkat praktikum (*test rig*) dan analisis performa *compact heat exchanger*. *Compact heat exchanger* yang digunakan sebagai objek pengujian merupakan tipe *tube bank staggered*. Pengujian *heat exchanger* disesuaikan dengan standar SNI 09-0605-1989, dimana sebuah perangkat uji untuk *compact heat exchanger* harus memiliki penyimpangan nilai perpindahan panas kedua fluida dibawah 10%. Analisis performa *heat exchanger* menggunakan metode *Number of Unit Transfer*.

1.3 Batasan Masalah

Tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa batasan masalah antara lain:

1. Operasi kerja *heat exchanger* disesuaikan dengan spesifikasi objek pengujian.
2. Pengujian dilakukan dalam keadaan tunak (*steady state*).
3. Efek perpindahan panas secara radiasi diabaikan.
4. Analisis dilakukan tanpa menyertakan *fouling factor*.
5. Akuisisi data operasi menggunakan perangkat *arduino*.

1.4 Tujuan Penelitian.

Tujuan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Desain dan membuat alat praktikum uji performa alat penukar panas tipe compact.
2. Menguji performa heat exchanger diatas perangkat praktikum.

1.5 Manfaat Penelitian.

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan perpindahan panas mengenai karakteristik perpindahan panas, penurunan tekanan dan unjuk kerja termal dari *compact heat exchanger*
2. Alat mampu digunakan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.
3. Menambah alat praktikum perpindahan panas guna menunjang perkuliahan perpindahan panas dan massa.
4. Mengoperasikan kembali *compact heat heat exchanger* produksi PT. Guntner Indonesia yang ada di laboratorium perpindahan panas dan massa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perangkat Uji (*Test Rig*)

Perangkat uji performa heat exchanger harus didesain sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan analisis. Rancangan perangkat uji terbagi dalam beberapa bagian, yaitu :

1. Rancangan *Wind Tunnel*.
2. Rancangan Akuisisi Data.
3. Metode Analisis Performa.

2.2 *Wind Tunnel*

- Ruang uji (*Test Chamber*)

Desain terowongan angin yang terpenting adalah mendefinisikan kriteria ruang uji dimensi, bentuk dan kecepatan udara yang diinginkan. Panjang ruang uji harus di kisaran 0,5-3 kali diameter hidrolik. Nilai ini memperhitungkan bahwa aliran udara keluar nozzle perlu 0,5 kali diameter hidrolik untuk menjadi hampir seragam. Selain itu, panjang ruang uji yang lebih dari 3 kali diameter hidrolik dapat meningkatkan keacakan aliran udara. Ruang uji harus memiliki jendela untuk menempatkan alat ukur. Bagian dimensi diameter hidrolik dapat dihitung seperti pada Persamaan 2.1.

$$D_{h,wt} = 2 \sqrt{\frac{A_{fr}}{\pi}} \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana:

A_{fr} = luas penampang ruang uji.

$D_{h,wt}$ = diameter hidrolik wind tunnel

- *Nozzle*

Nozzle berfungsi untuk mengurangi variasi kecepatan aliran. Keseragaman kecepatan aliran dalam penampang ruang uji tergantung pada desain *nozzle*. Sebuah *nozzle* harus memiliki panjang total sebesar lebar inlet *nozzle*. Jika $\frac{L_n}{y}$ kurang dari 0.667 menyebabkan aliran udara tidak seragam, sementara nilai lebih besar dari 1,79 meningkatkan ketebalan *boundary layer*.

$$\frac{L_n}{y} \cong 1 \dots \dots \dots 2.2$$

Dimana:

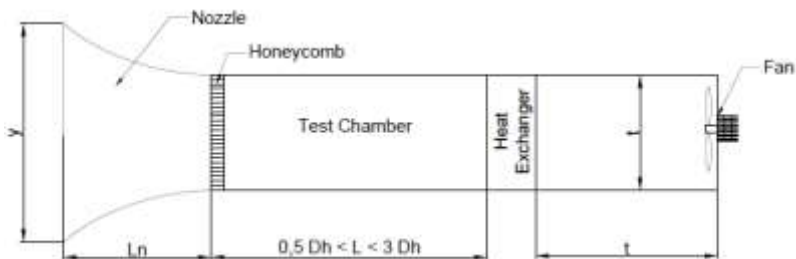
y = lebar inlet *nozzle*

L_n = panjang *nozzle*

- *Honeycomb*

Sebuah *honeycomb* dengan sel yang sejajar dalam arah aliran mampu mengurangi fluktuasi variasi kecepatan arah transversal. Dalam prosedur desain sarang lebah , panjangnya (L_{hc}) dan sel diameter hidrolik (D_{hc}) harus memiliki rasio sebagai berikut:

$$6 \leq \frac{L_{hc}}{D_{hc}} \leq 8 \dots \dots \dots (2.3)$$



Gambar 2.1 Wind Tunnel.

2.3 Termokopel

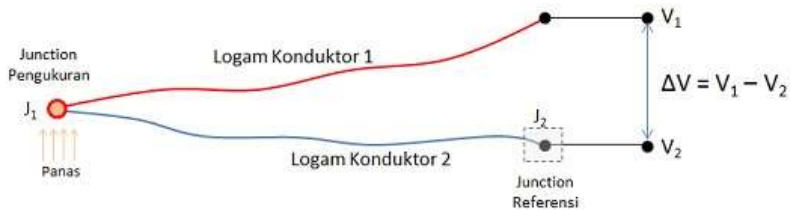
Termokopel adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”.

Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya yaitu J_1 dan J_2 . Bagian J_2 yang terdapat pada termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan bagian J_1 sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas. Termokopel tipe K dipilih karenan mempunyai koefisien seebeck paling stabil dengan rentang suhu 0-1000 °C dengan nilai 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

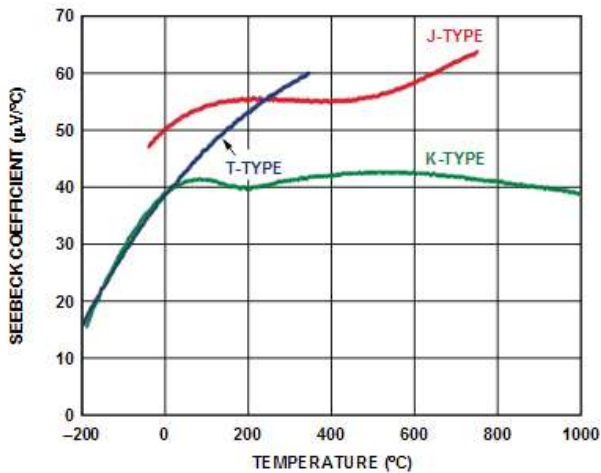
Termokopel adalah transducer yang digunakan untuk mengukur suhu. Sebuah termokopel terbuat dari 2 buah logam yang berbeda jenis yang bila disatukan seperti gambar 2.2, akan menimbulkan tegangan listrik (*electromotive force*) antara 2 titik yang merupakan fungsi suhu sambungan (*junction temperature*).

Pada banyak aplikasi, salah satu sambungan yakni *cold junction* dijaga sebagai suhu referensi, sedang yang lain dihubungkan pada objek pengukuran. Dengan begitu, tegangan termokopel menjadi naik. Dengan adanya suhu tetapan pada *cold junction*, yang berguna untuk pengukuran di laboratorium, secara sederhana termokopel tidak mudah dipakai untuk kebanyakan indikasi sambungan langsung dan instrumen kontrol. Perlu ditambahkan *cold junction* tiruan ke sirkuit mereka yaitu peralatan lain yang sensitif terhadap suhu seperti (termistor atau dioda) untuk mengukur suhu *hot junction* pada peralatan, dengan tujuan khusus untuk mengurangi gradiasi suhu di antara ujung-ujungnya.

Termokopel (Thermocouple)



Gambar 2.2 Bagian Termokopel.



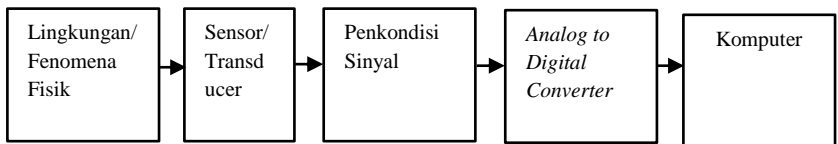
Gambar 2.3 Grafik koefisien Seebeck berbanding suhu

2.4 Akuisisi Data

Sebuah sistem akuisisi data atau biasa dikenal *Data-Acquisition Sistem* (DAS) merupakan sistem instrumentasi elektronik terdiri dari sejumlah elemen yang secara bersama-sama bertujuan melakukan pengukuran, menyimpan, dan mengolah

hasil pengukuran. Secara aktual DAS berupa *interface* antara lingkungan analog dengan lingkungan digital. Lingkungan analog meliputi *transducer* dan pengkondisi sinyal dengan segala kelengkapannya, sedangkan lingkungan digital meliputi *analog to digital converter* (ADC) dan selanjutnya pemrosesan *digital* yang dilakukan oleh mikroprosesor atau sistem berbasis *mikroprosesor*. Berikut ini elemen-elemen dasar dari sistem akuisisi data berbasis komputer :

1. Fenomena fisik yang diukur adalah suhu.
2. Sensor adalah alat yang digunakan untuk membaca fenomena fisik pada alat
3. Pengkondisi sinyal adalah perangkat keras yang digunakan untuk membaca data analog dan merubahnya menjadi data digital.
4. *Software* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram pengkondisi sinyal agar dapat membaca sinyal dari pengkondisi sinyal dan keakuratan pembacaan ditentukan dari program yang dibuat.
5. Data digital adalah *output* dari pembacaan sensor yang digunakan, kemudian data digital sudah siap untuk diolah dengan komputer.



Gambar 2.4 Diagram proses akuisisi data.

2.5 Compact Heat Exchanger

Alat penukar panas (*Heat exchanger*) merupakan suatu alat yang sangat penting dalam proses pertukaran panas. Alat penukar panas yang memiliki kerapatan permukaan yang

melebihi 700 m²/m³ dapat dikategorikan sebagai *compact heat exchanger*. Berdasarkan arah aliran compact heat exchanger dibagi menjadi 3, yaitu *Counter*, *Parallel*, dan *Cross flow*. Konfigurasi susunan *tube-bank compact heat exchanger* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *staggered* dengan arah aliran *cross flow*.

Konsep dari *compact heat exchanger* adalah mengalirkan fluida panas ke dalam tube-tube, kemudian didinginkan oleh udara yang dihembuskan oleh *fan*. Udara yang mengalir melewati *tube bank*. Fluida panas yang melepas panas mengalir keluar dari tube menjadi lebih dingin dan udara yang menerima panas mengalir keluar *heat exchanger* menjadi lebih panas. Prinsip kesetimbangan energi menyatakan bahwa panas yang dilepaskan oleh fluida panas sama besarnya dengan panas yang diterima oleh aliran udara dan lingkungan.

Tugas akhir ini menguji performa dari *compact heat exchanger* produksi PT. Guntner Indonesia tipe *circular tube continuous*. *Compact heat exchanger* tersebut mempunyai batas operasi kerja dibawah tekanan 16 bar. Temperatur kerja maksimum yang diijinkan adalah 95° C dan temperature kerja minimum yang diijinkan adalah -50° C.

2.6 Analisa Perpindahan Panas

2.6.1 Perpindahan Panas Aliran Sisi Dalam Tube

Pada silinder berlubang yang memiliki perbedaan suhu antara permukaan dinding dalam dan dinding luar terjadi proses perpindahan panas konduksi secara radial. Besar perpindahan panas yang terjadi dapat dihitung dari besar perbedaan suhu aliran masuk dan aliran keluar. Dalam hal ini besar laju perpindahan

panas yang dilepaskan *thermal oil* pada sisi dalam *tube* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_{oli} = \dot{m}_{oli} \cdot C_{p,oli} \cdot (T_{oli,in} - T_{oli,out}) \dots \dots \dots (2.4)$$

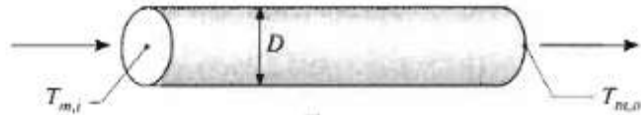
dimana:

\dot{m}_{oli} = laju aliran massa oli (kg/s)

$C_{p, oli}$ = kalor jenis oli (kJ/kg.°C)

$T_{oli,in}$ = suhu oli masuk (°C)

$T_{oli,out}$ = suhu oli keluar (°C)



Gambar 2.5 Perpindahan panas aliran sisi dalam *tube*.^[2]

2.6.2 Perpindahan Panas Aliran Sisi Luar *Tube*.

Perpindahan panas pada aliran sisi luar *tube* terjadi akibat adanya perbedaan suhu permukaan *tube-bank staggered* dengan aliran udara yang masuk. Sehingga besar laju perpindahan panas yang diterima udara pada sisi luar *tube* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_{udara} = \dot{m}_{udara} \cdot C_{p,udara} \cdot (\bar{T}_{udara,out} - T_{udara,in}). \quad (2.5)$$

dimana :

\dot{m}_{udara} = laju aliran massa udara (kg/s)

$C_{p, udara}$ = kalor jenis udara (kJ/kg.°C)

$T_{udara, keluar}$ = suhu rata-rata udara keluar (°C)

$T_{udara,in}$ = suhu udara masuk (°C)

dari persamaan (2.5), laju aliran massa udara \dot{m} , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{m}_{udara} = \rho_{udara} \cdot A_{fr} \cdot V \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana :

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

A_{fr} = luas penampang saluran udara (m^2)

V = kecepatan rata-rata udara dalam saluran udara (m/s)

2.7 Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

2.7.1 Penurunan Tekanan pada Sisi Dalam *Tube*

Akibat gesekan antara aliran fluida dengan dinding *tube* maka terjadi penurunan tekanan aliran fluida. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung *pressure drop* pada sisi *tube* adalah:

(Sadic kakac et al, hal 274)

$$\Delta P = \left(f \cdot 4 \left[\frac{L}{d_i} \right] \left[\frac{\rho U_m^2}{2} \right] \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana:

L = panjang *tube* (m)

N_p = jumlah lintasan yang dilalui fluida

d_i = diameter *tube* (m)

U_m = kecepatan aliran fluida dalam *tube* (m/s)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

f = *frinction factor* dari *Moody diagram*

$$Re = \frac{\rho V D_i}{\mu_k} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.7.2 Penurunan Tekanan pada Sisi Luar *Tube-banks staggered Heat Exchanger*

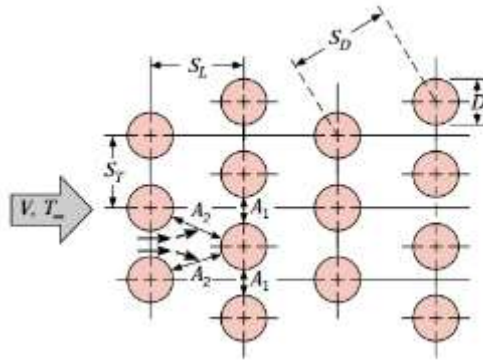
Perhitungan *pressure drop* untuk alat penukar panas tipe *tube-banks staggered* dapat menggunakan persamaan:
(Sadic Kakac et al, hal 310)

$$\Delta P = \frac{G^2}{2\rho_i} \left[f \frac{A_t}{A_{ff}} \frac{\rho_i}{\rho} + (1 + \sigma^2) \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1 \right) \right] \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana:

- f = friction factor
- G = maximum mass velocity (kg/m²s)
- σ = rasio *free flow area* dengan *frontal area*
- ρ_i = massa jenis fluida *inlet* (kg/m³)
- ρ_o = massa jenis fluida *outlet* (kg/m³)
- ρ = massa jenis fluida rata-rata (kg/m³)
- A_t = luas total permukaan perpindahan panas (m²)
- A_{ff} = luas minimum lintasan aliran fluida sisi luar *tube* (m²)

Kondisi aliran yang melintasi susunan *tube* didominasi oleh pengaruh separasi *boundary layer* dan olakan fluida, dimana hal ini akan mempengaruhi penurunan tekanan aliran. Aliran fluida yang melewati beberapa baris susunan *staggered tube* penurunan tekanannya bergantung pada energi kinetik aliran.



Gambar 2.6 Susunan *tube* tipe *staggered*.^[2]

Pada susunan *tube* seperti pada pada gambar 2.7, kecepatan maksimum aliran fluida terjadi pada luasan terkecil yang dapat dihitung dengan persamaan 2.15

$$V_{max} = V \cdot \frac{A_{fr}}{A_{ff}} \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana:

V = kecepatan aliran udara (m/s)

A_{fr} = luas penampang saluran udara (m²)

A_{ff} = luas minimum lintasan aliran fluida sisi luar *tube* (m²)

Sehingga aliran kecepatan massa (G) dapat dihitung dengan persamaan 2.16

$$G = \rho \cdot V_{max} \dots \dots \dots (2.16)$$

Kerugian daya kipas bergantung pada pressure drop aliran udara yang beroperasi. Semakin besar pressure drop pada aliran udara, maka semakin besar kerugian daya kipas yang

diakibatkan pressure drop. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan 2.17

$$E_{fan,loss} = \frac{\dot{m}}{\rho} (\Delta P) \dots \dots \dots (2.17)$$

2.8 Uji Performa

2.8.1 Analisis Alat Penukar Panas dengan Metode *Number of Transfer Unit* (NTU)

Metode *Number of Transfer Unit* lebih efektif jika dipakai untuk mengetahui unjuk kerja dari penukar panas yang digunakan. Untuk mendefinisikan unjuk kerja dari penukar panas maka perlu diketahui terlebih dahulu *overall heat transfer* dari *heat exchanger* tersebut.

$$U \cdot A = \frac{Q}{F \cdot \Delta T_{LMTD}} \dots \dots \dots (2.18)$$

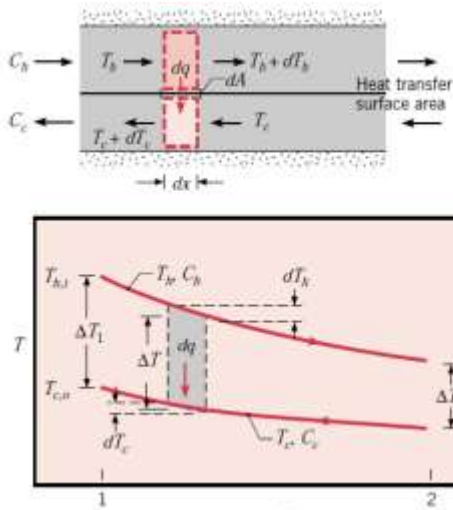
dimana :

q : laju perpindahan panas (W)

U : *overall heat transfer coefficient* (W/m².K)

A : luas total permukaan perpindahan panas (m²)

F : *correction factor* aliran melintang menjadi aliran berlawanan.



Gambar 2.7 Distribusi suhu untuk arah aliran *counter*.^[2]

Untuk mendapatkan ΔT_{LMTD} diperlukan asumsi :

- Harga U konstan untuk sepanjang pipa.
- Konduksi hanya berlangsung satu dimensi melintas dinding pemisah
- Pertukaran panas hanya berlangsung diantara kedua fluida saja
- Kondisi tunak (*steady state*)
- Perubahan energi potensial dan kinetik diabaikan

Pada penukar panas aliran berlawanan (*Counter flow*) berlaku :

$$\Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,o} \dots \dots \dots (2.19)$$

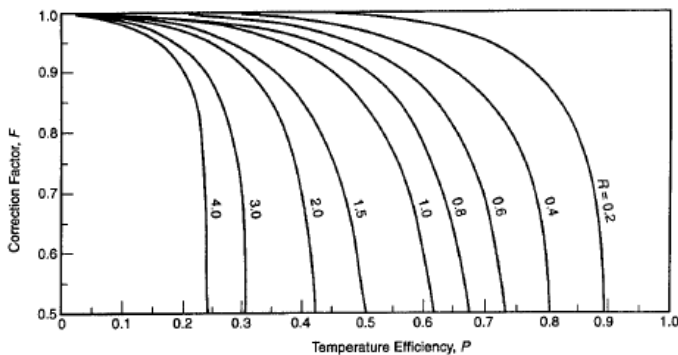
$$\Delta T_2 = T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,i} \dots \dots \dots (2.20)$$

Sedangkan untuk penukar panas beberapa laluan (*multipass*) dan aliran tegak lurus (*Cross Flow*) maka ΔT_{lm} berlaku dengan mengalikan faktor koreksi dan dapat dihitung dengan kondisi

aliran berlawanan (*Counter Flow*) seperti pada persamaan berikut :

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \dots \dots \dots (2.21)$$

Faktor koreksi F untuk beberapa jenis aliran dapat dilihat dalam gambar 2.9



Gambar 2.8 Hubungan antara P dan R dengan F (*correction factor*)^[3]

Kapasitas panas sisi fluida panas dinyatakan C_h dan kapasitas sisi fluida dingin C_c . Besar laju perpindahan panas maksimum (ideal) yang mungkin berlangsung dalam penukar panas tersebut (q_{maks}) dihitung sebagai :

$$q_{maks} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots \dots \dots (2.22)$$

dimana C_{min} diperoleh untuk nilai yang kecil dari :

$$C_h = \dot{m}_h C_{p,h} \text{ atau } C_c = \dot{m}_c C_{p,c} \dots \dots \dots (2.23)$$

Jika $C_c < C_h$ maka

$$q_{maks} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots \dots \dots (2.24)$$

Jika $C_c > C_h$ maka

$$q_{maks} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots \dots \dots (2.25)$$

Setelah didapatkan besar kapasitas panas maksimum dan minimum, maka didapatkan ratio kapasitas panas dan NTU.

$$Cr = \frac{C_{min}}{C_{maks}} \dots \dots \dots (2.26)$$

Number of Transfer Unit (NTU) merupakan bilangan tanpa dimensi dan didefinisikan sebagai:

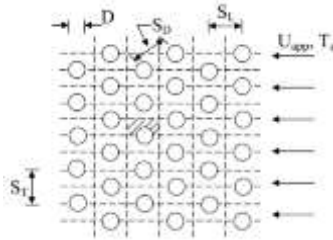
$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \dots \dots \dots (2.27)$$

Effectiveness (ε) adalah perbandingan antara laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas maksimum yang dimungkinkan. *Effectiveness* merupakan bilangan tanpa dimensi dan berada dalam batas $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Untuk *compact heat exchanger* dengan aliran melintang dan kedua aliran tidak bercampur *effectiveness* dapat dinyatakan:

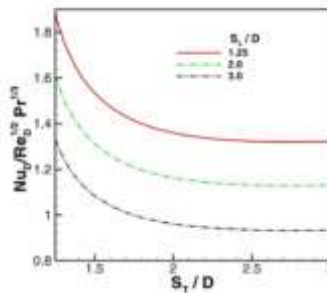
$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{maksimal}} \dots \dots \dots (2.28)$$

2.9 Penelitian Terdahulu

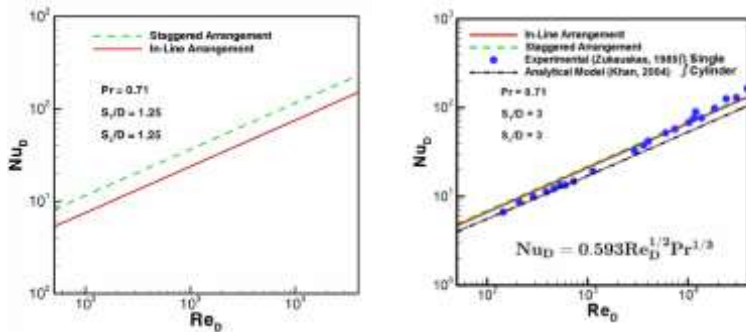
M. M Yovanovich, et. Al (2005). Meneliti perpindahan panas pada susunan tube bank dengan variasi susunan S_T dan S_L yang berbeda. Variasi pertama pada $S_T = 1.25$ dan $S_L = 1.25$ (1.25×1.25), kedua pada $S_T = 2$ dan $S_L = 2$ (2×2), dan yang ketiga pada $S_T = 3$ dan $S_L = 3$ (3×3). Dengan variasi tersebut didapatkan harga nusselt number yang semakin meningkat dengan adanya penambahan kecepatan fluida dingin yang mengalir. Karena koefisien perpindahan panas adalah fungsi Reynolds maka koefisien perpindahan panas juga meningkat seiring dengan meningkatnya angka reynoldsnya.



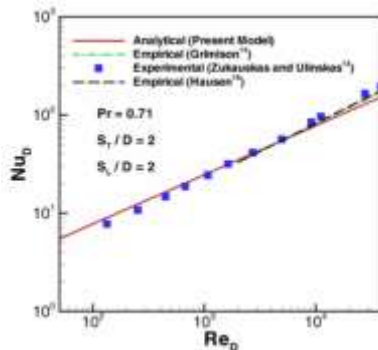
Gambar 2.9 Geometri dari susunan staggered tube bank pada eksperimen M. M. Yovanovich, et. Al (2005)



Gambar 2.10 Grafik perbandingan angka Nusselt dan angka Reynolds terhadap perbandingan jarak Longitudinal (S_L) dan jarak Transversal (S_T)



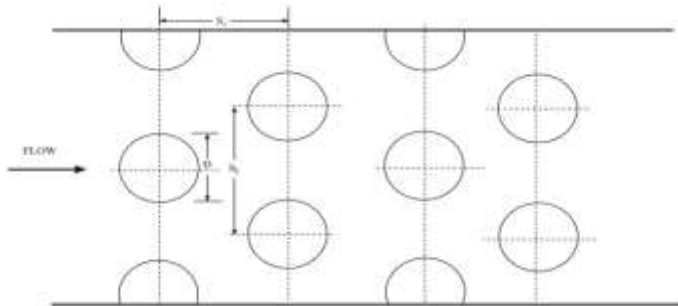
Gambar 2.11 Grafik peningkatan angka nusselt dan angka Reynolds terhadap perbandingan jarak Longitudinal (S_T) dan jarak Transversal (S_T) tertentu



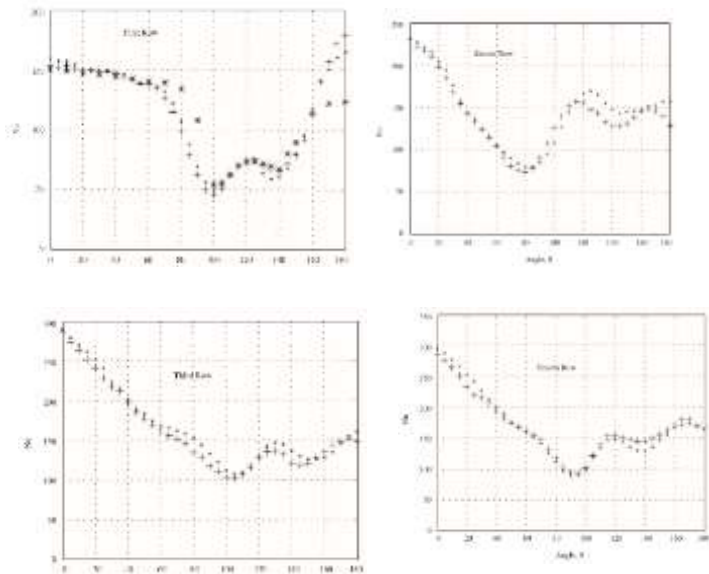
Gambar 2.12 Grafik peningkatan angka Nusselt dan angka Reynolds terhadap perbandingan jarak Longitudinal (S_T) dan jarak Transversal (S_T) tertentu (dari penelitian terdahulu).

Ertan Buyruk (1997) meneliti perpindahan panas dan karakteristik aliran panas dari susunan pipa yang staggered. Variasi angka Reynolds tertentu pada setiap row-nya maka akan didapat harga Nusselt. Yang menjadi pengamatan adalah bagaimana pengaruh perubahan dari boundary layer disekitar titik

stagnasi, separasi dan vortex yang terjadi didaerah pembentukan wake terhadap perpindahan panasnya,



Gambar 2.13 Aliran melintang susunan 4row tube bank



Gambar 2.14 Distribusi Nusselt Number Terhadap titik – titik
(sudut tumbuk aliran pada susunan tube staggered)

Pada Row 1 terjadi penurunan pada 100° dan 140° angka nusselt. Ini dikarenakan adanya pengaruh dari boundary layer yang laminar, namun 140° angka nusseltnya lebih besar dari 100° . Pada dasarnya angka Nusselt keduanya adalah hamper sama tetapi karena ada pengaruh dari jarak St. Pada row 2,3, dan 4 terjadi peningkatan angka nusselt terutama pada titik -titik stagnasinya dan juga bisa dilihat bahwa perbandingan jarak S_L juga mempengaruhi besarnya angka Nusseltnya. Karena olakan yang melewati tube row 1 mempengaruhi di row selanjutnya yaitu adanya wake, hal ini berpengaruh pada peningkatan angka Nusselt juga.

Mariam, Siti

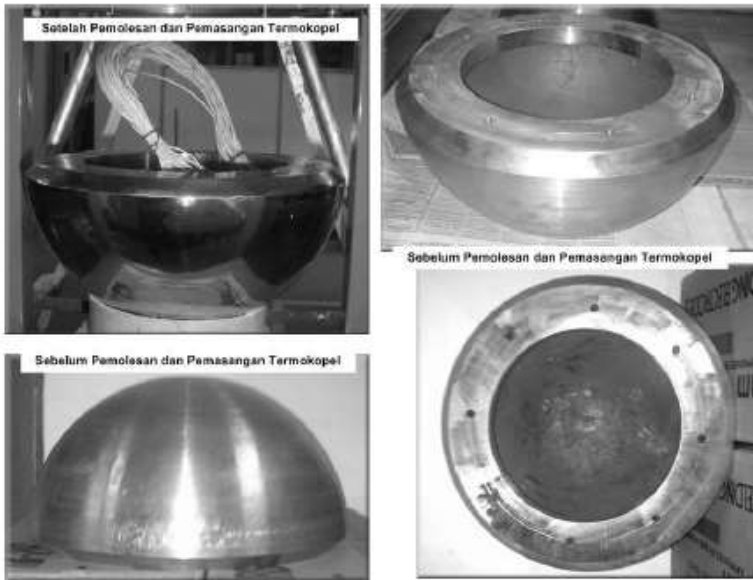
Siti mariam [2013], melakukan penelitian tentang kalibrasi termokopel tipe-K pada bagian uji heating-03 menggunakan cDAQ-9188. Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi termokopel pada bejana berbentuk setengah bola yang berisi air. Kalibrasi dilakukan pada rentang suhu 40°C hingga 80°C dengan rentang variasi 5°C . Kalibrasi dilakukan dengan 25 buah termokopel tipe K dan membandingkan hasil pembacaan termokopel dengan termometer standar.

Metode yang dilakukan adalah dengan memanaskan air pada bejana yang kemudian dibaca menggunakan termometer standar sebagai acuan. Perangkat data akuisisi termokopel menggunakan *National Instruments* tipe cDAQ-9188, modul NI-9213 dan program virtual LabVIEW yang telah tersedia. cDAQ-9188 terdiri dari beberapa modul dan dalam satu modul untuk pengukuran tegangan terdiri dari 16 kanal. Dari masing-masing termokopel dihubungkan pada kanal yang berbeda. cDAQ-9188 dihubungkan ke komputer dan direkam menggunakan program LabVIEW yang telah tersedia, maka pembacaan temperatur

termokopel dapat dilihat pada program LabVIEW. Pengolahan data dengan menghitung nilai *error* pada masing-masing termokopel dengan acuan nilai standar yang terukur pada temperatur standar. Dari beberapa kondisi akan didapatkan *error* rata-rata dari setiap termokopel. Dari hasil pengukuran termokopel disimpulkan bahwa besar *error* yang terjadi tidak melebihi 2% dari pembacaan.

Tabel 2.1 Hasil Pembacaan Termokopel

TC-S (°C)	TC-1B		
	Nilai(°C)	Selisih(°C)	<i>error</i> (%)
40	40,16	0,16	0,40
45	45,81	0,81	1,81
50	50,71	0,71	1,42
55	55,79	0,79	1,44
60	60,88	0,88	1,47
65	66,10	1,10	1,69
70	71,33	1,33	1,90
75	76,47	1,47	1,97
80	81,35	1,35	1,69
<i>Error rata-rata (%)</i>			1,53



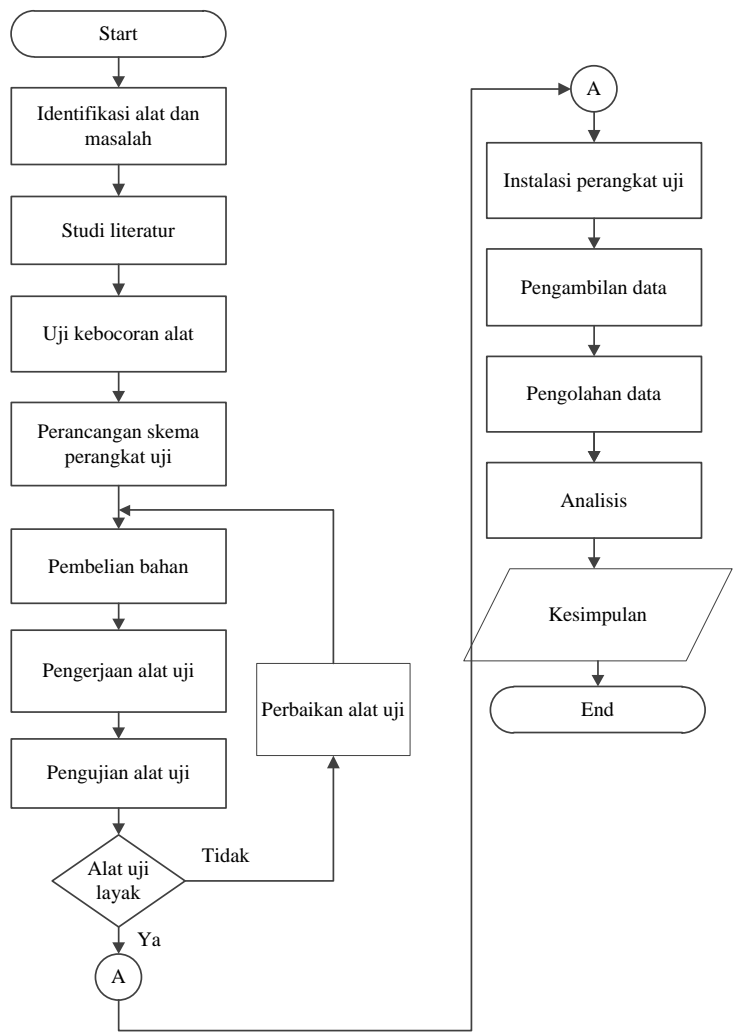
Gambar 2.15 Kalibrasi dilakukan pada bejana yang berisi air.

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Perancangan dan pengujian alat uji performa *compact heat exchanger* ini akan dilakukan di laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Adapun metodologi yang dilakukan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu dengan mengidentifikasi alat dan masalah, melakukan studi literatur untuk membahas analisis yang akan dilakukan, menguji kebocoran pada alat, merancang skema perangkat uji performa alat, pemasangan perangkat uji, pengambilan data, melakukan analisis data yang didapat, sehingga mendapatkan kesimpulan dari hasil analisis.

3.2 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

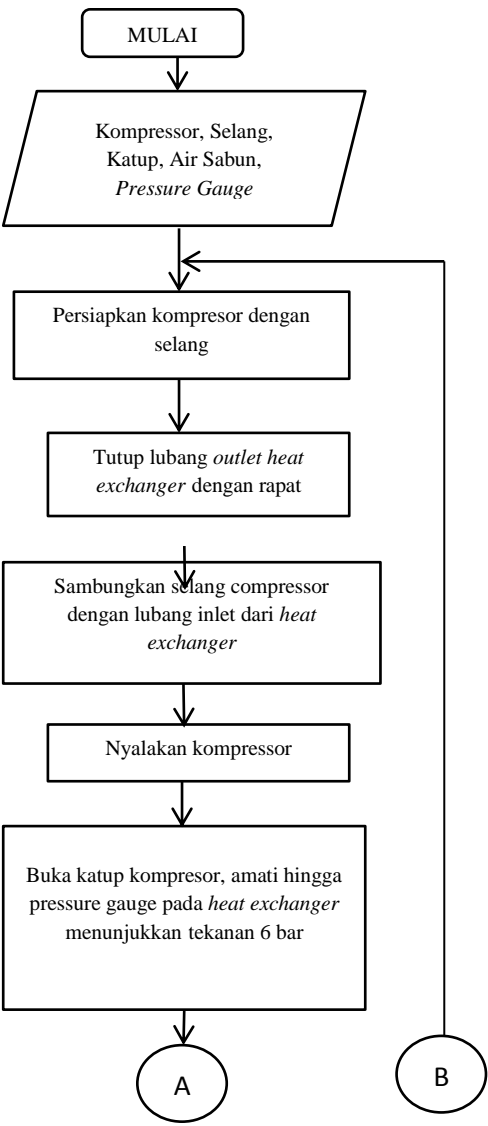
3.3 Uji Kebocoran

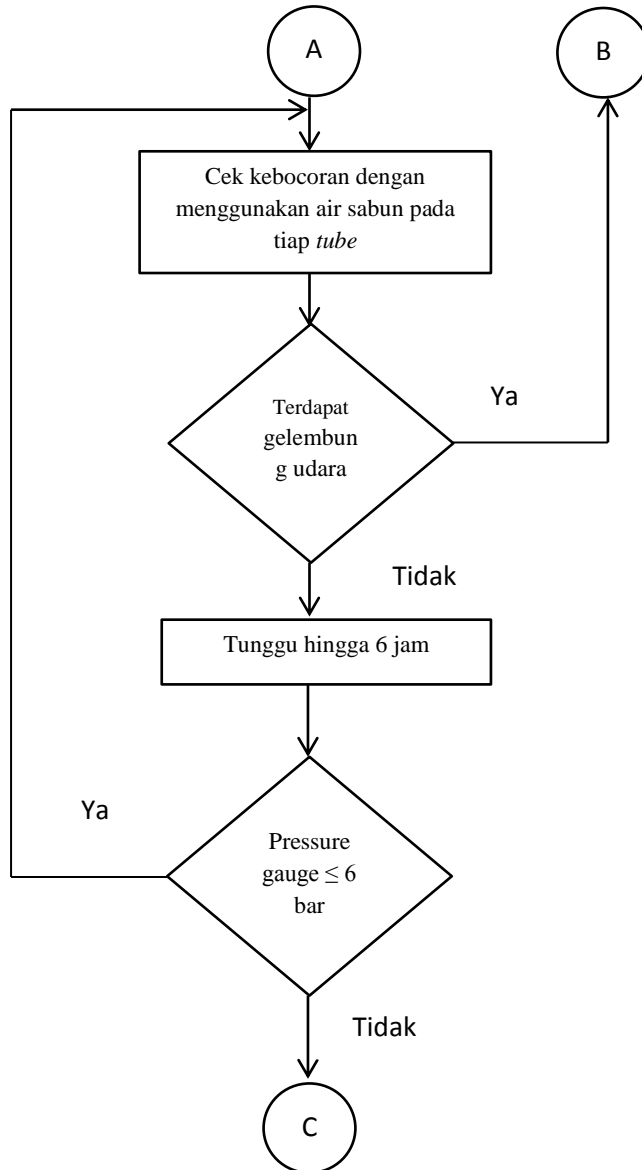
Heat exchanger dalam pengoperasiannya sangat menghindari adanya kontak langsung kedua fluida kerja. Kebocoran di *heat exchanger* mengakibatkan kerja aliran tidak baik, beban panas yang rendah, dan efisiensi yang menurun. *Heat exchanger* dipastikan tidak mengalami kebocoran apabila lulus uji *compressed air leak test/pneumatic test*. Sederhananya *pneumatic test* adalah pengujian udara bertekanan dengan melihat perubahan tekanan selama kurun waktu tertentu. Dalam kurun waktu tersebut dilakukan inspeksi dengan memberikan air sabun pada permukaan benda uji, kebocoran dapat langsung terlihat dengan adanya gelembung sabun pada permukaan *tube*. Besar tekanan pengujian sesuai dengan standar TEMA untuk *pneumatic test* adalah 1,25-2,5 kali tekanan operasi dengan koreksi temperatur. Untuk batasan suhu pengujian standar memiliki batasan pada rentang suhu 6 °C s/d 49 °C. *Pneumatic test* yang dilakukan adalah dengan udara bertekanan 6 bar dan ditahan dalam kurun waktu 6 jam. Adanya penurunan tekanan mengindikasikan kebocoran pada *heat exchanger*.

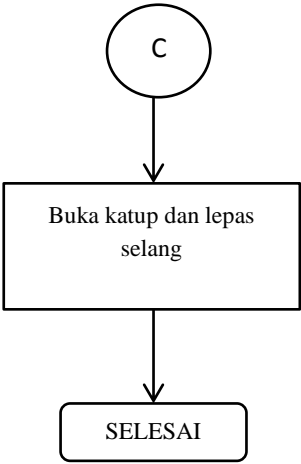
3.4 Kalibrasi Termokopel

Termokopel digunakan untuk membaca suhu aliran yang bekerja pada *heat exchanger*. Kalibrasi termokopel sangat penting dilakukan karena besar performa *heat exchanger* yang dihasilkan bergantung pada suhu yang dibaca termokopel. Kalibrasi termokopel dilakukan pada suhu tetapan 0° C [Lampiran]. Dari data yang didapatkan besar deviasi yang terjadi tidak lebih dari 2,2°C atau 2% dari suhu kalibrasi. Menurut standar ASTM E230-ANSI MC 96.1, Standar deviasi 2,2°C merupakan standar deviasi maksimum yang diijinkan.

3.5 Flowchart Uji Kebocoran

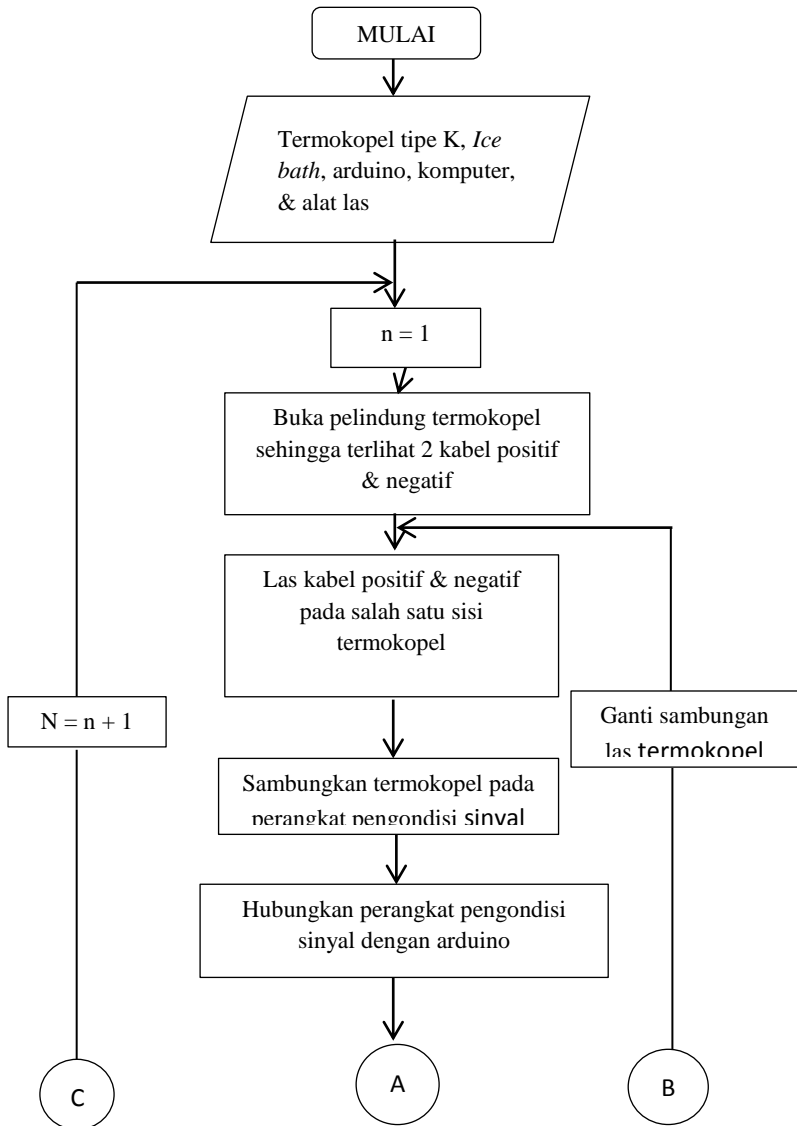


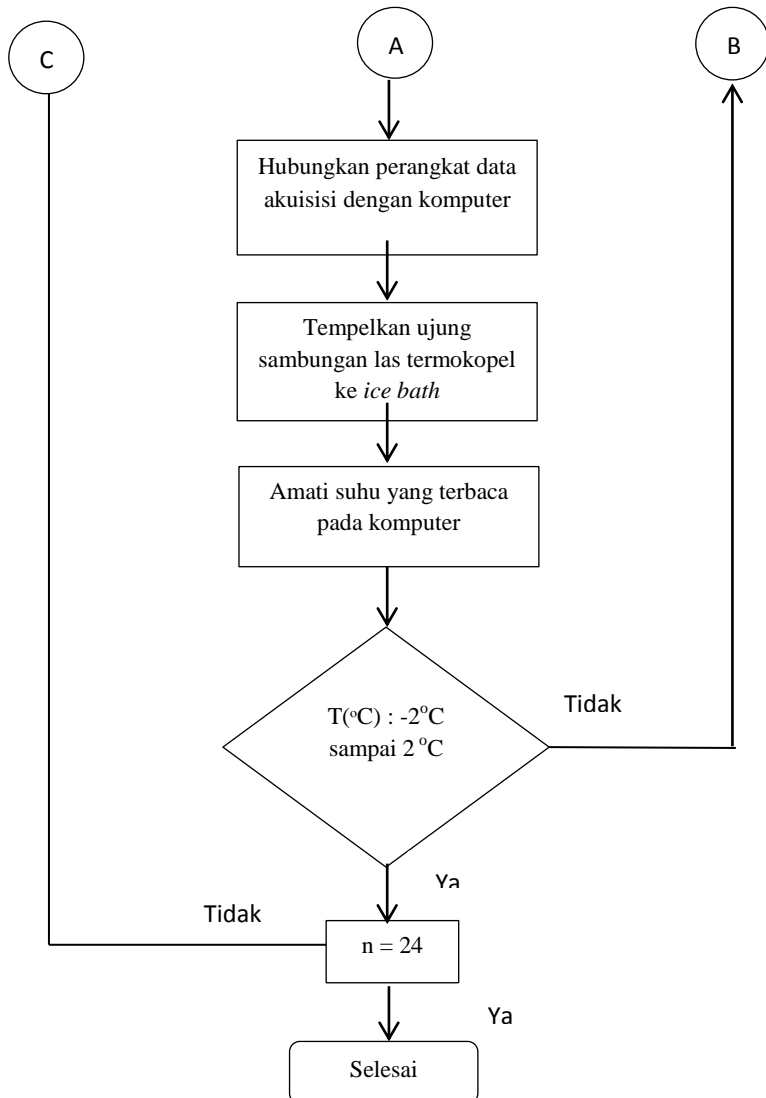




Gambar 3.2 *Flowchart* Uji Kebocoran

3.6 Flowchart Kalibrasi Termokopel





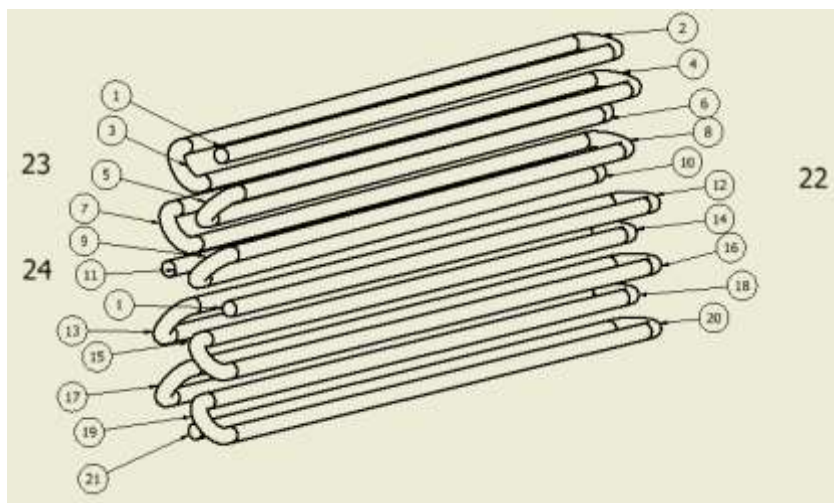
Gambar 3.3 *Flowchart* Kalibrasi Termokopel

3.7 Objek Pengujian

Compact heat exchanger diuji dengan melakukan pengamatan dan pengukuran suhu secara langsung pada lintasan *tube* dengan jumlah 80 buah yang tersusun secara *staggered*. Delapan puluh buah *tube* tersebut dibagi menjadi 8 segmen, sehingga setiap segmen memiliki 10 lintasan aliran. Sisi *tube* dialiri fluida panas *thermal oil*, yang sebelumnya dipanasi dengan *heater* hingga suhu 80° C. Titik pengambilan data suhu pada *compact heat exchanger* dapat dilihat pada gambar 3.5, pengambilan data dilakukan pada segmen 4 dan 5. Udara sebagai fluida pendingin dialirkan menggunakan *suction blower*. *Suction blower* menghisap udara dari luar sistem melewati saluran uji dan diarahkan melewati susunan *tube banks staggered* dengan arah aliran *cross flow*. Skema instalasi percobaan ditunjukkan pada gambar 3.7.

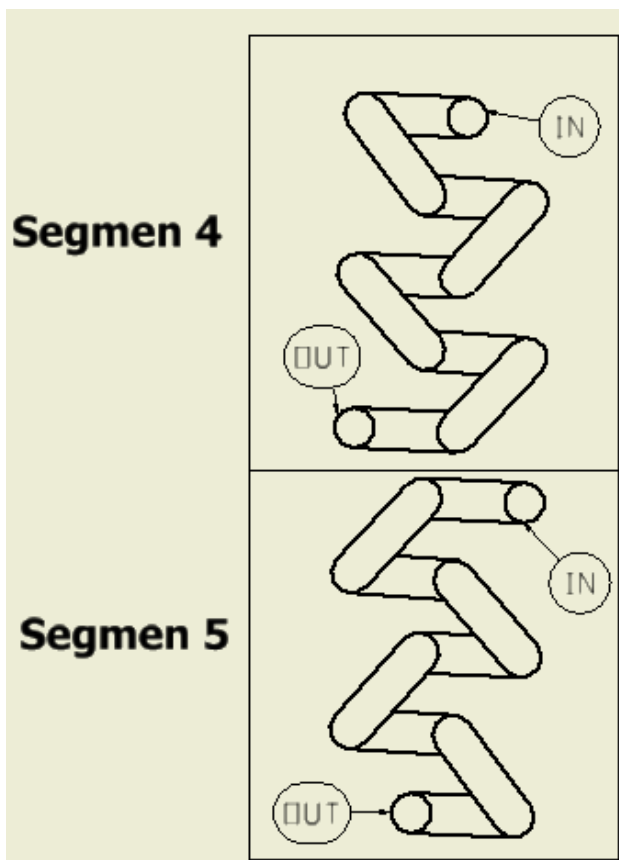
Tabel 3.1 Dimensi *Compact Heat Exchanger* tipe *Tube-banks staggered*

No	Besaran	Simbol	Nilai	Satuan
1	Diameter Luar tube	Do	0,0102	m
2	Diameter dalam tube	Di	0,010145	m
3	Jarak antar tube Transversal	ST	0,025	m
4	Flow passage hydraulic diameter	Dh	0,616	cm
5	Heat transfer area/total volume	A/V	678,26	cm ² /cm ³



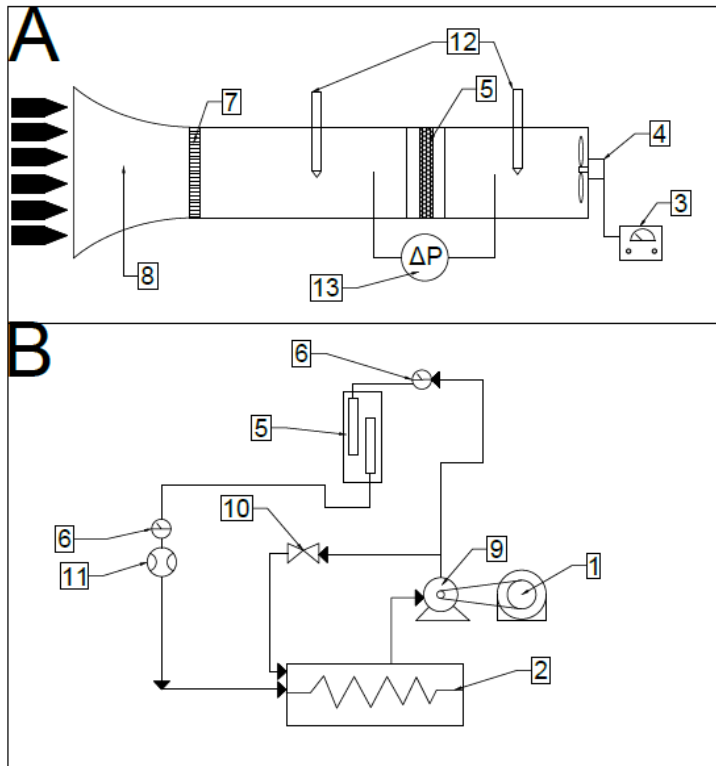
Gambar 3.5 Titik pengambilan data suhu.





Gambar 3.6 Segmen pengambilan data

3.8 Skema Instalasi Peralatan



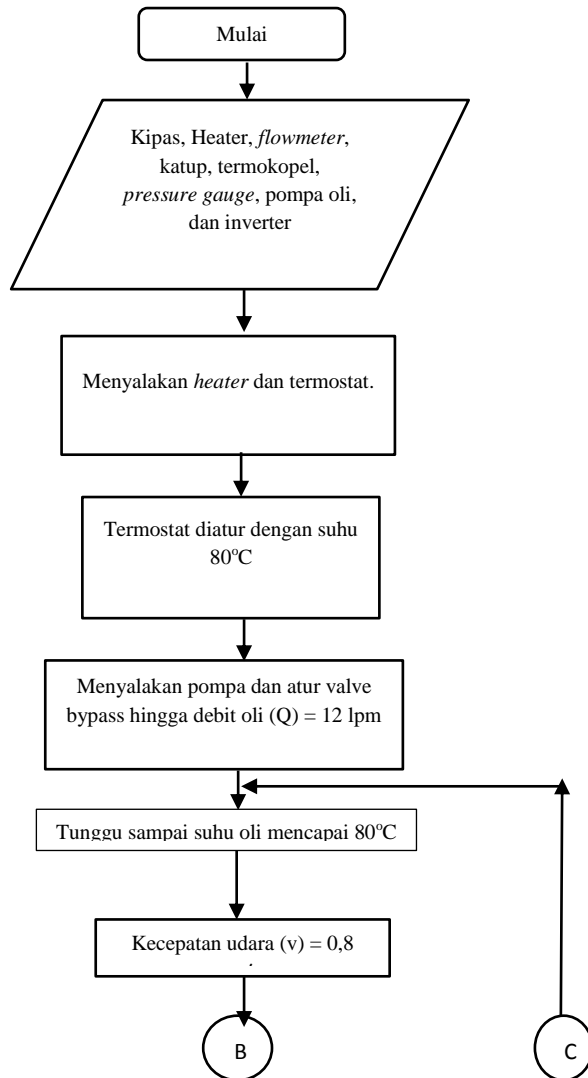
Gambar 3.7 Skema perangkat penguji : A. Windtunnel, B. Siklus perjalanan oli.

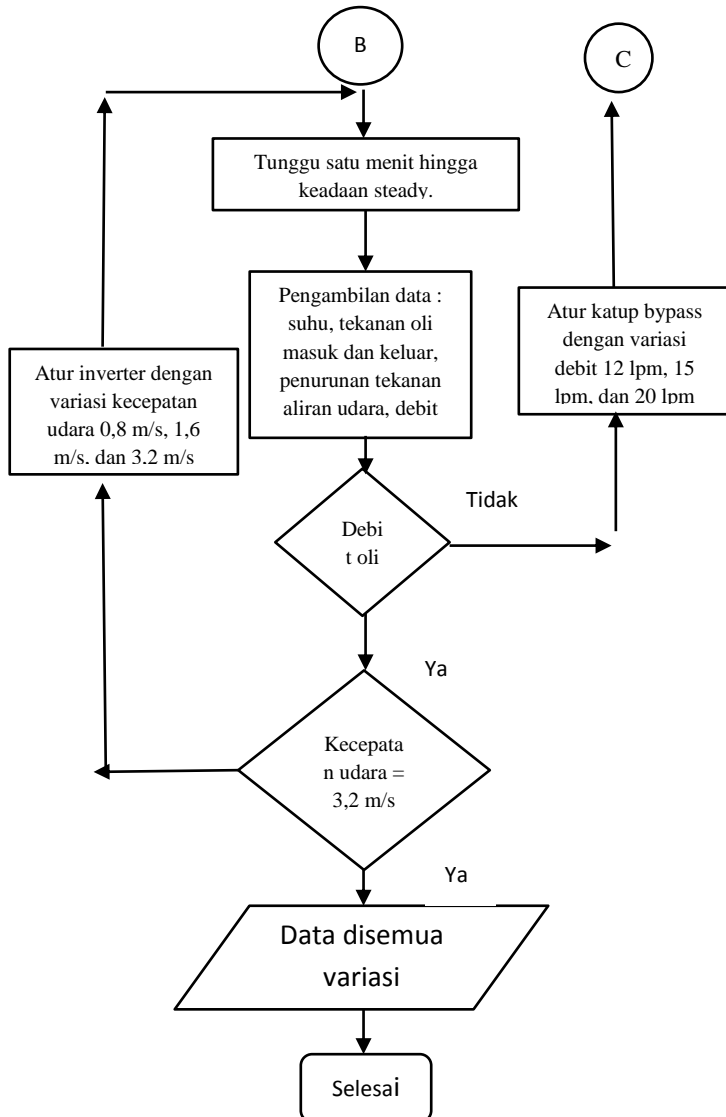
Keterangan Gambar :

- | | |
|------------------|---|
| 1. Motor listrik | 5. Compact Heat Exchanger tipe Tube-banks staggered |
| 2. Heater | 6. Pressure gauge oil |
| 3. Inverter | |
| 4. Induced fan | |

7. *Honeycomb*
8. *Nozzle Saluran Uji*
9. *Gear Pump*
10. *Bypass valve*
11. *Rotameter oil*
12. Termokopel K
13. *Pressure Gauge*
Udara

3.9 Flowchart Pengujian





Gambar 3.8 Flowchart pengambilan data.

3.10 Peralatan Penelitian

3.10.1 Windtunnel



Gambar 3.9 *Windtunnel*

Spesifikasi Wind Tunnel yang dipakai :

- Bentuk Nozzle : Mouthbell
- Material (Nozzle) : Aluminium
- Material (Test Chamber) : Akrilik
- Dimensi :
 - o Panjang : 1,2 m
 - o Lebar : 0.5 m
 - o Tinggi : 0.5 m

3.10.2 KTA-259 K *Thermocouple Shield*

KTA-259 ini dirancang untuk pembacaan data bercabang yang berhubungan dengan papan kontrol Arduino. Di alat ini sendiri terdapat banyak terminal yang memungkinkan untuk dipasang sampai dengan 8 titik termokopel. Prinsip Kerja alat ini adalah untuk menerjemahkan sinyal listrik yang dihasilkan oleh

termokopel menjadi sinyal digital untuk direkam oleh arduino atau alat yang digunakan sebagai pengondisi sinyal. Spesifikasi KTA-259 adalah sebagai berikut :

- Dapat dipasang hingga 8 buah termokopel tipe K
- Range Suhu yang dapat dibaca adalah 0-1024°C
- MAX6675 IC
- 0.1" Pitch Screw Terminal untuk Sambungan Thermocouple



Gambar 3.10 KTA-259 K *Thermocouple Shield*

3.10.3 Arduino Mega 2560



Gambar 3.11 Arduino Mega 2560

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source* yang dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Arduino ini berfungsi sebagai alat untuk merekam data digital yang telah ditangkap oleh KTA-259 K *multiplexer shield* agar dapat ditampilkan komputer. Arduino disambungkan ke port USB pada komputer sehingga dapat langsung terkoneksi pada saat proses pembacaan data. Arduino Mega 2560 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Microcontroller: AT mega 2560
- Operating Voltage: 5V
- Input Voltage (recommended): 7-12V
- Input Voltage (limits) : 6-20V
- Digital I/O Pins : 54 (of which 15 provide PWM output)
- Analog Input Pins: 16
- DC Current per I/O Pin: 40 mA
- DC Current for 3.3V Pin: 50 mA

3.10.4 Kipas

Didalam alat Uji *Compact Heat Exchanger* terdapat salah satu komponen penting yaitu kipas angin. Kipas ini berfungsi sebagai alat penghisap udara dimana udara adalah fluida pendingin untuk alat uji *Compact Heat Exchanger* ini. Kipas ini dibuat oleh perusahaan EBM dengan type S4E 350 AA06-50. Kode S menjelaskan bentuk kipas dengan *guard grille*, 350 adalah diameter dari kipas, AA adalah instalasi kipas tanpa proteksi, 0.6 adalah ukuran Ampere dari kipas, dan 50 adalah Frekuensi dari kipas tersebut.

Prinsip kerja kipas ini sama seperti blower rumahan. Kipas dipasang di bagian belakang dari alat uji kemudian kipas akan menghisap udara melalui *windtunnel* sehingga dapat udara

dapat mengalir melalui *Compact Heat exchanger*. Spesifikasi kipas :

- Merk : EBM
- Type : S4E 350 AA06-50
- Max Velocity : 3.2 m/s
- Type Motor: 1. VAC : 1 – 230
 - 2. Frekuensi : 50 Hz
 - 3. rpm : 1340
 - 4. Input Power: 145 max
 - 5. A : 0.73
- (max)
- 6. Max Pressure : 90 Pa
- 7. Temperature : -25 – 65 ° C



Gambar 3.12 Kipas EBM S4E 350 AA06-50



Gambar 3.13 Anemometer

3.10.5 Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. anemometer yang dipakai adalah anemometer kincir angin dengan spesifikasi anemometer sebagai berikut :

- Merk : Intellisafe
- Model : AR 816
- Wind Speed : Ft/min, km/h, m/s or Knot
- Max Speed : 0 – 45 m/s
- Temp : -10 to 45°C

3.10.6 *Pressure Gauge* (Udara)



Gambar 3.14 Dwyer *Pressure Gauge*

Pressure gauge udara berfungsi untuk mengukur tekanan statis aliran udara. *Pressure gauge* yang dipakai adalah dari Dwyer dengan tipe 2300 – 120 PA. dengan Spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Dwyer
- Type : 2300 – 120 PA
- Fluid : Gas
- Max Pressure : 1,72 bar
- Min Max Temp : -6,67 – 60 ° C

3.10.7 Elemen Pemanas (*Heater*)

Elemen pemanas berfungsi untuk memanaskan oli pada penampung oli. Elemen pemanas yang dipakai adalah Elemen pemanas tipe U. Elemen pemanas tipe U ini termasuk kedalam tipe *Tubular*. Semakin besar Watt pada elemen pemanas maka semakin cepat pula panas yang dinaikkan oleh elemen pemanas tersebut.

Elemen pemanas disambungkan dengan kabel pada kedua ujungnya kemudian disambungkan ke *power supply* dalam hal ini *power supply* sudah tersambung pada perangkat thermostat sehingga elemen pemanas dapat dikontrol. Spesifikasi elemen pemanas yang digunakan:

- Pembuat : Sintech
- Panjang : 25 cm
- Elemen Pemanas : 220v 1000w
- Jumlah : 3 buah
- Bahan : Stainless Stell



Gambar 3.15 Elemen Pemanas

3.10.8 Termostat



Gambar 3.16 Termostat Autonics type T3S-B4RK-4C

Termostat berfungsi sebagai alat pengatur suhu untuk elemen pemanas. Thermostat ini mempunyai prinsip yang sama seperti pada setrika. Jika oli sudah mencapai suhu panas yang telah ditentukan maka elemen pemanas dengan otomatis akan mati. Namun jika oli berada pada suhu dibawah yang telah ditentukan maka elemen pemanas otomatis akan menyala kembali.

Thermostat disambungkan dengan termokopel sebagai pembaca suhu. Sehingga pada saat suhu yang telah ditentukan maka elemen pemanas akan mati secara otomatis.

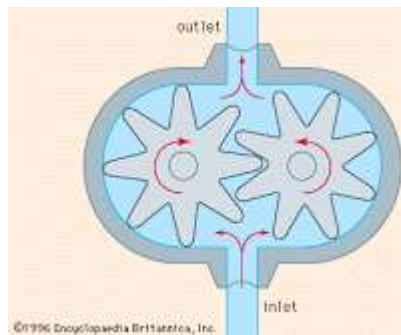
3.10.9 Pompa Oli

Pompa oli yang di pakai adalah *Gear Pump*. Gear pump sendiri berfungsi untuk memindahkan oli atau liquid ke tempat yang diinginkan. Pemilihan Gear pump sangat penting karena Gear pump sangat baik untuk Fluida seperti oli. Selain itu Gear Pump juga tahan terhadap suhu tinggi.

Gear pump bekerja dengan cara mengalirkan fluida melalui celah-celah antara gigi dengan dinding. Kemudian fluida dikeluarkan melalui saluran outlet karena sifat pemasangan roda gigi yang selalu memiliki titik kontak. Suatu pasangan roda gigi

secara ideal akan selalu memiliki satu titik kontak dengan pasangannya meskipun roda gigi tersebut berputar. Hal inilah yang dimanfaatkan oleh mekanisme gear pump untuk mengalirkan fluida. Dengan kata lain, secara ideal fluida tidak akan masuk melalui titik kontak pasangan roda gigi tersebut. Spesifikasi dari Gear pump :

- Merk : Koshin
- Gear Material : Cast Iron
- Type : GC 20
- Dimensi : 492x262x194 mm
- Maximum Delivery Volume : 29 L/min



Gambar 3.17 Cara kerja Gear Pump



Gambar 3.18 Gear Pump Koshin GC 20

3.10.10 *Flowmeter Oli*

Flowmeter adalah alat yang mengukur tingkat aliran cair atau gas dalam tabung tertutup. Sebuah *flowmeter* terdiri dari tabung runcing, biasanya terbuat dari kaca, dengan pelampung di dalamnya yang didorong oleh aliran dan ditahan oleh pegas. Gaya dan jarak angkat dari pelampung sebanding dengan laju aliran. Gaya angkat ini dihasilkan oleh tekanan yang menekan pelampung hingga naik ke atas mengindikasikan besar debit aliran tersebut. Spesifikasi *flowmeter* :

- Merk : Omega
- Type : FL 6115A
- Range Debit : 0 – 15 lpm or 15 gpm
- Fluid : Oil
- Max Temperature : 116° C
- Accuracy : $\pm 2\%$



Gambar 3.19 *Flowmeter oli.*

3.10.11 Pressure Gauge (Oil)

Pressure gauge merupakan suatu alat yang dipergunakan untuk membaca tekanan melalui pengamatan secara langsung. *Pressure gauge* yang digunakan bertipe *bourdon tube*. Tekanan masuk melalui *bourdon tube* yang selanjutnya memutar searah jarum jam secara mekanik pada alat *pressure gauge* tersebut.

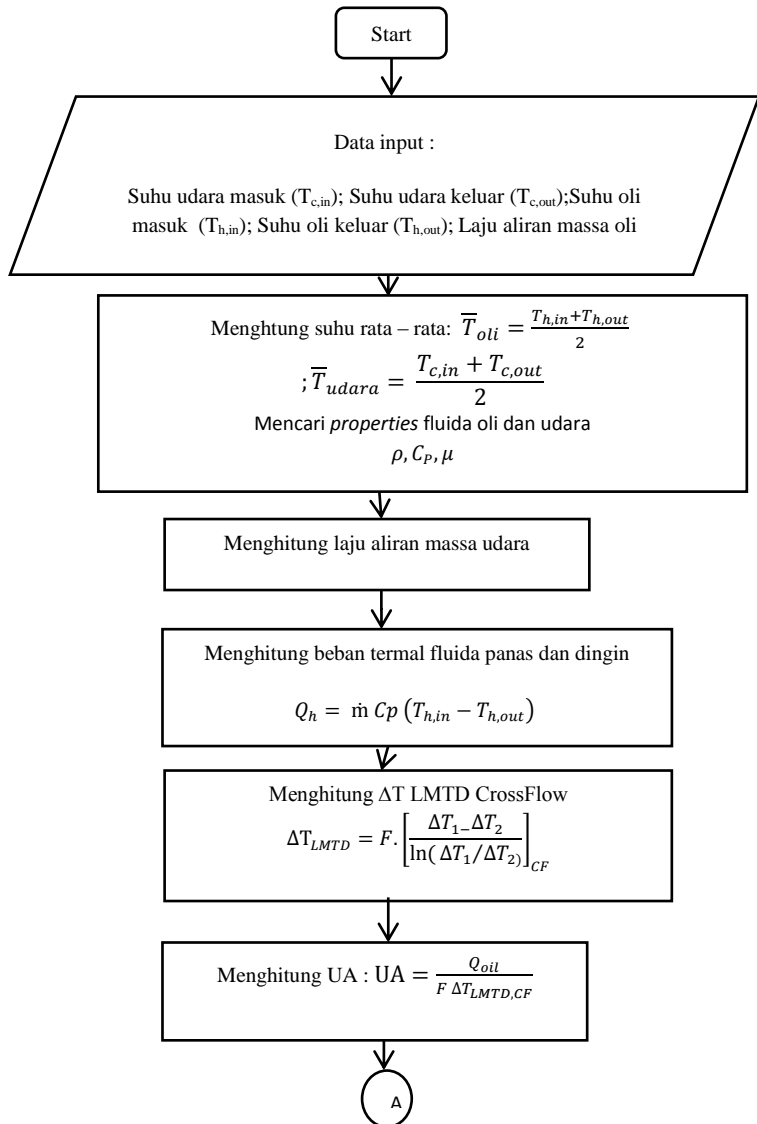
Spesifikasi dari *Pressure gauge* oli yang dipakai :

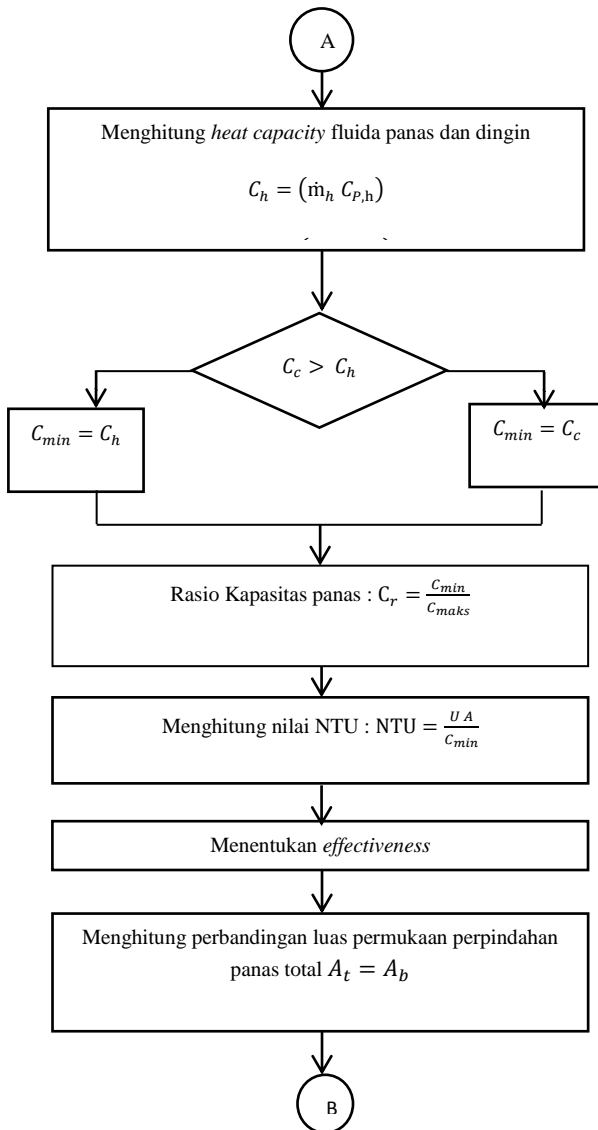
- Merk : Atlantis
- Tipe : SS 316
- *Max Pressure* : 7 kg/cm²

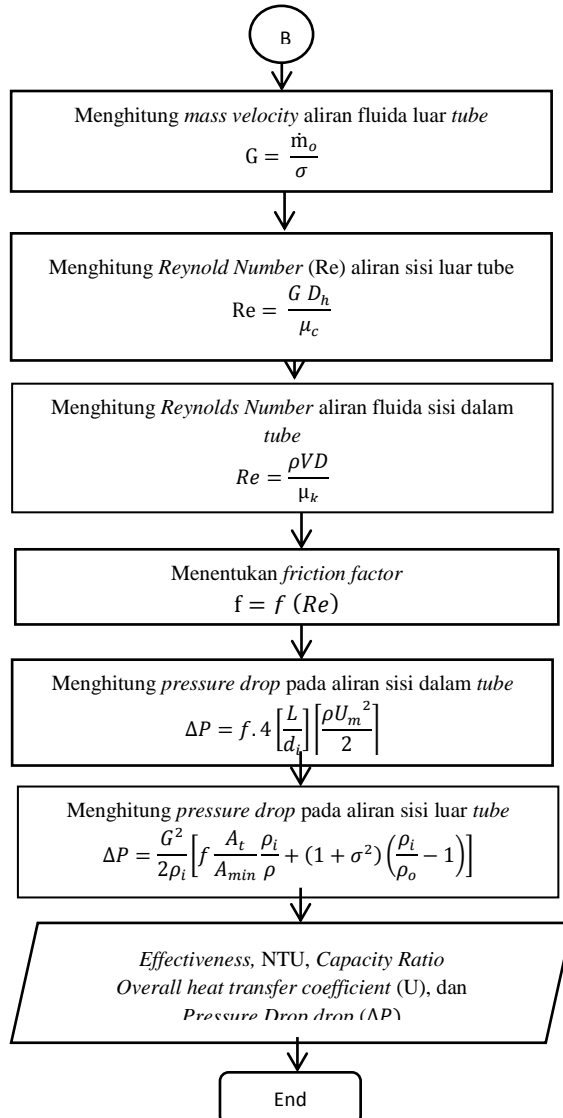


Gambar 3.20 *Pressure Gauge Tipe Bourdoun Tube*

3.11 Flowchart Perhitungan Uji Performa Heat Exchanger







Gambar 3.21 Flowchart perhitungan dengan Uji Performa Heat Exchanger

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan *Wind Tunnel*

Wind tunnel adalah komponen yang sangat penting untuk pengujian performa *Compact Heat Exchanger*. *Wind Tunnel* berfungsi sebagai saluran udara atau fluida pendingin. Bagian *nozzle wind tunnel* berbentuk *mouthbell* untuk mengurangi turbulensi aliran. Di dalam *mouthbell* tersusun *honeycomb* berfungsi sebagai pelurus aliran udara sehingga udara tetap *uniform*. Dalam hal tes ini, luas ruang pengujian sebesar 0,25 meter persegi. Jadi, dalam studi kasus ini panjang ruang pengujian ditetapkan untuk dua kali hidrolik diameter bagian pengujian.

- Diameter hidrolik *wind tunnel*

$$D_{h,wt} = 2 \sqrt{\frac{A_{fr}}{\pi}}$$

$$D_{h,wt} = 2 \sqrt{\frac{0,25}{\pi}}$$

$$D_{h,wt} = 0,56$$

Dalam tugas akhir ini digunakan panjang ruang pengujian sebesar 1,2 meter.

- *Nozzle*

$$\frac{L_n}{y} \cong 1$$

Dalam studi kasus ini, nilai $\frac{L_n}{y} \cong 1$ ditetapkan untuk 1 dengan panjang permukaan masuk *nozzle* sebesar 0,75, maka didapatkan panjang *nozzle* 0,75 m.

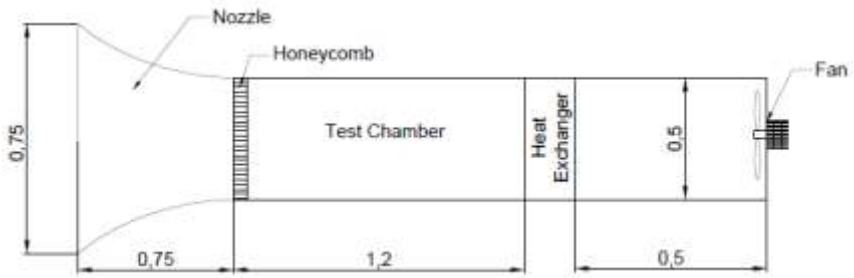
Spesifikasi ruang uji yang dipakai :

- Bentuk nozzle : Mouthbell
- Material (Mouthbell) : Aluminium
- Material (Tunnel) : Akrilik
- Dimensi :
 - Panjang : 1,2 m
 - Tinggi : 0.5 m
 - Lebar : 0.5 m

- *Honeycomb*

- Panjang penyusun *honeycomb* : 0,065 m
- Diameter hidrolik penyusun *honeycomb* : 0,01 m

$$\frac{L_{hc}}{D_{hc}} = \frac{0,065}{0,01} = 0,65 \text{ sesuai dengan persamaan 2.3}$$



Gambar 4.1 *Wind tunnel*

4.2 Data Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap *test section compact heat exchanger* dengan 9 variasi kondisi operasi seperti dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Variasi Pengujian

Kecepatan rata-rata Udara/Debit Oli	0,8 m/s	1.6 m/s	3.2 m/s
12 lpm	AA	DD	GG
15 lpm	BB	EE	HH
20 lpm	CC	FF	II

Setiap variasi kondisi operasi kerja didapatkan data suhu fluida panas yaitu oli di setiap lintasan, suhu fluida dingin yaitu udara sebelum masuk *heat exchanger* dan setelah keluar *heat exchanger*, kecepatan aliran udara, debit aliran oli, tekanan aliran masuk dan keluar kedua aliran fluida. Data hasil percobaan dapat dilihat di lampiran.

4.3 Contoh Perhitungan

4.3.1 Menghitung *Balance Energy*

Variasi A

$$Q_{oli} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out})$$

$$Q_{oli} = 0,28 \frac{kg}{s} \cdot \frac{2300 J}{kg \cdot K} \cdot (76,25 - 67,45) K$$

$$Q_{oli} = 5365,89 \text{ Watt}$$

$$Q_{udara} = 0,45 \frac{kg}{s} \cdot \frac{1007,25 J}{kg K} \cdot (41 - 29) K$$

$$Q_{udara} = 5627,8 \text{ Watt}$$

Besar Deviasi

$$D = \left| \frac{(Q_{udara} - Q_{oli})}{Q_{oil}} \right| \times 100\%$$

$$D = \left| \frac{5402,89 - 5365,9}{5365,9} \right| \times 100\%$$

$$D = 0,69\%$$

4.3.2 Menentukan Overall Heat Transfer Coefficient

$$UA = \frac{Q}{F \Delta T_{lmtd}}$$

- F (fungsi dari gambar grafik 2.9)

$$P = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}}$$

$$P = \frac{41 - 28,5}{76,25 - 28,5}$$

$$P = 0,25$$

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}}$$

$$R = \frac{76,25 - 67,5}{41 - 28,5}$$

$$R = 0,68$$

$$F = 0,98 \text{ (Gambar 2.18)}$$

- Menghitung ΔT_{LMTD}

$$\Delta T_{LMTD} = \left[\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \right]$$

$$\Delta T_{LMTD} = \left[\frac{35,25 - 39}{\ln(35,25/39)} \right]$$

$$\Delta T_{LMTD} = 37,09$$

$$F \cdot \Delta T_{LMTD} = 36,35$$

- Menghitung UA

$$UA = \frac{5365,9 \text{ Watt}}{36,35 \text{ K}}$$

$$UA = 147,61 \text{ Watt/K}$$

4.3.3 Menentukan Q_{maks}

$$C_h = \dot{m}_h C_{p,h}$$

$$C_h = \frac{0,28 \text{ kg} \cdot 2300 \text{ J}}{\text{s} \cdot \text{kgK}}$$

$$C_h = 647,7 \frac{\text{Watt}}{\text{K}}$$

$$C_c = \dot{m}_c C_{p,c}$$

$$C_c = 0,45 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{1005 \text{ J}}{\text{kgK}}$$

$$C_c = 450,225 \frac{\text{Watt}}{\text{K}}$$

$$C_h > C_c, \text{ Maka } q_{maks} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$Q_{maks} = 450,225 \frac{\text{Watt}}{\text{K}} (76,25 - 29)$$

$$Q_{maks} = 21498,24 \text{ Watt}$$

4.3.4 Menghitung Capacity Ratio

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{maks}}$$

$$C_r = \frac{450,25}{647,91}$$

$$C_r = 0,695$$

4.3.5 Menghitung Overall Heat Transfer Coefficient

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}}$$

$$NTU = \frac{147,61}{450,225}$$

$$NTU = 0,33$$

4.3.6 Menghitung *Effectiveness*

$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{maksimum}}$$

$$\varepsilon = \frac{5365,9}{21498,24}$$

$$\varepsilon = 0,25$$

4.3.7 Menghitung Pressure Drop

- Pressure Drop Aliran Oli.

$$\Delta P = f \cdot 4 \left[\frac{L}{d_i} \right] \left[\frac{\rho U_m^2}{2} \right]$$

$$\Delta P = 0,013 \times 4 \left[\frac{0,5}{0,01} \right] \left[\frac{847,35 \times 3,89^2}{2} \right]$$

$$\Delta P = 43916,8,06 \text{ Pa}$$

- Pressure Drop Aliran Udara

$$\Delta P = \frac{G^2}{2\rho_i} \left[f \frac{A_t}{A_{ff}} \frac{\rho_i}{\rho} + (1 + \sigma^2) \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1 \right) \right]$$

$$\Delta P = \frac{9,04^2}{2 \times 1,157} \left[0,019 \times 59,71 \frac{1,157}{1,125} + (1 + 0,199^2) \left(\frac{1,157}{1,11} - 1 \right) \right]$$

$$\Delta P = 18,505 \text{ Pa}$$

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan

Pressure drop aliran udara (Pa)			Pressure Drop aliran oli (Pa)		Pressure Drop aliran oli Rata-Rata (Pa)		
Perhitungan	Rata-rata Perhitungan	Pengujian	Perhitungan	Pengujian	Perhitungan		
4,5	4,5	5	19232,04	23535,96	12 lpm	15 lpm	20 lpm
4,5			22891,62	29419,95	19273,39	22959,22	31578,69
4,5			31527,81	40207,27			
9,18	9,18	10	19254,61	22555,30			
9,18			23016,09	28439,29	Eksperimen		
9,182			31590,90	39226,60	12 lpm	15 lpm	20 lpm
18,5	18,49	20	19333,51	21574,63	22555,30	29093,06	39553,49
18,5			22969,95	29419,95			
18,477			438345,7	439168,9			

No	Kecepatan udara (m/s)	Debit oli (L/menit)	Laju aliran massa udara (kg/s)	Laju aliran massa oli (kg/s)	Q udara (Watt)	Q oli (Watt)	Deviasi (%)	UA (Watt/K)
1	0,8	12	0,11	0,17	1193,59	1123,497	6,23	34,69
2		15		0,21	1223,43	1350,249	9,39	33,57
3		20		0,28	1347,56	1439,921	6,41	27,97
4	1,6	12	0,22	0,17	2148,46	2074,48	3,56	59,83
5		15		0,21	2267,82	2160,32	4,9	51,83
6		20		0,28	2405,15	2450,21	8,19	50,92
7	3,2	12	0,45	0,17	3819,49	3287,74	9,01	111,93
8		15		0,21	4058,21	4053,19	0,1	98,57
9		20		0,28	4296,92	4632,21	7,23	79,22

NTU	Effectiveness	Cr
0,169	0,144	0,322
0,182	0,1544	0,32
0,198	0,1727	0,3
0,1	0,09	0,6
0,11	0,102	0,51
0,13	0,115	0,45
0,05	0,055	0,9
0,066	0,06	0,82
0,1	0,094	0,72

4.4 Analisa Hasil Pengujian

4.4 Analisa Hasil Eksperimen

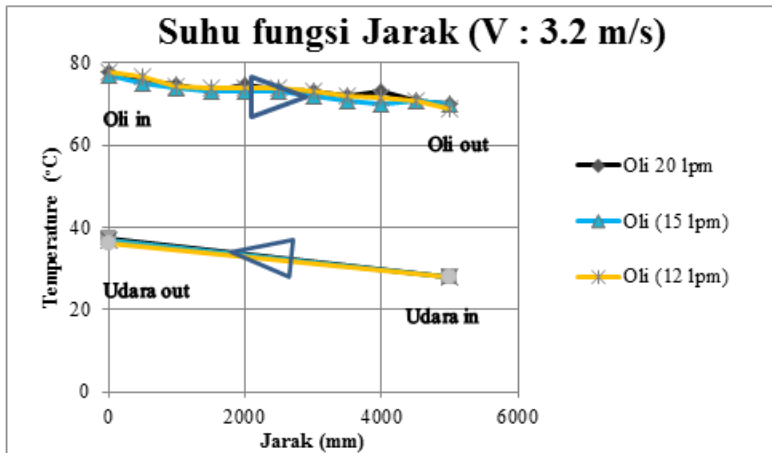
4.4.1 Analisa Pengaruh Jarak Lintasan Terhadap Suhu.

4.4.1.1 Analisa Pengaruh Jarak Lintasan Terhadap Suhu Variasi debit

Untuk mengetahui unjuk kerja berdasarkan pengaruh susunan *tube* pada *heat exchanger* harus dilakukan pengambilan data suhu pada setiap lintasan. Data suhu pada setiap lintasan dapat digunakan untuk menentukan besar koefisien konveksi yang terjadi di setiap *tube*. Aliran crossflow dapat dikonversi menjadi aliran counterflow dengan menghitung besar nilai P dan R untuk mendapatkan nilai *correction factor* pada gambar 2.6.

Pada gambar 4.1 aliran fluida panas ditandai dengan garis yang terletak diatas, Distribusi aliran fluida panas atau oli cenderung menurun. Semakin jauh jarak lintasan yang dilalui oli maka distribusi temperatur pada oli akan cenderung menurun. Sedangkan pada fluida pendingin atau udara akan temperaturnya meningkat dari temperatur masukan ke temperature keluaran udara. Hal ini dikarenakan adanya pelepasan kalor dari fluida panas atau oli ke fluida pendingin atau udara.

Persamaan 2.1 dan 2.2 menunjukan bahwa semakin tinggi perbedaan suhu yang terjadi maka semakin besar perpindahan panas yang terjadi. Dari hasil eksperimen dan perhitungan didapatkan hasil yang sebanding.



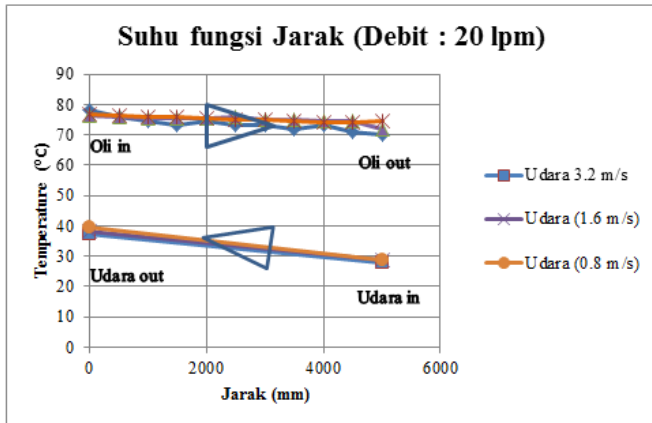
Gambar 4.2 Grafik Suhu Fungsi Jarak variasi Debit

4.4.1.2 Analisa Pengaruh Jarak Lintasan Terhadap Suhu Variasi Kecepatan udara

Pada grafik 4.2 memiliki trendline yang hampir sama dengan gambar 4.2 yakni Grafik suhu fungsi jarak pada variasi kecepatan debit. Gambar 4.2 menunjukkan Grafik suhu fungsi jarak dengan variasi kecepatan udara.

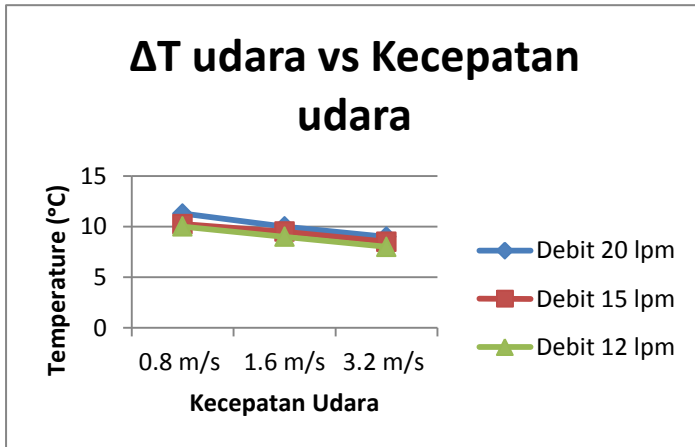
Pada gambar 4.2 hampir sama dengan gambar 4.1 aliran fluida panas ditandai dengan garis yang terletak diatas, Distribusi aliran fluida panas atau oli cenderung menurun. Semakin jauh jarak lintasan yang dilalui oli maka distribusi temperatur pada oli akan cenderung menurun. Sedangkan pada fluida pendingin atau udara akan temperaturnya meningkat dari temperatur masukan ke temperature keluaran udara. Hal ini dikarenakan adanya pelepasan kalor dari fluida panas atau oli ke fluida pendingin atau udara.

Persamaan 2.1 dan 2.2 menunjukkan bahwa semakin tinggi perbedaan suhu yang terjadi maka semakin besar perpindahan panas yang terjadi. Dari hasil eksperimen dan perhitungan didapatkan hasil yang sebanding.



Gambar 4.3 Grafik suhu fungsi jarak variasi kecepatan udara.

4.4.2 Analisa Perbedaan temperatur udara vs Kecepatan udara



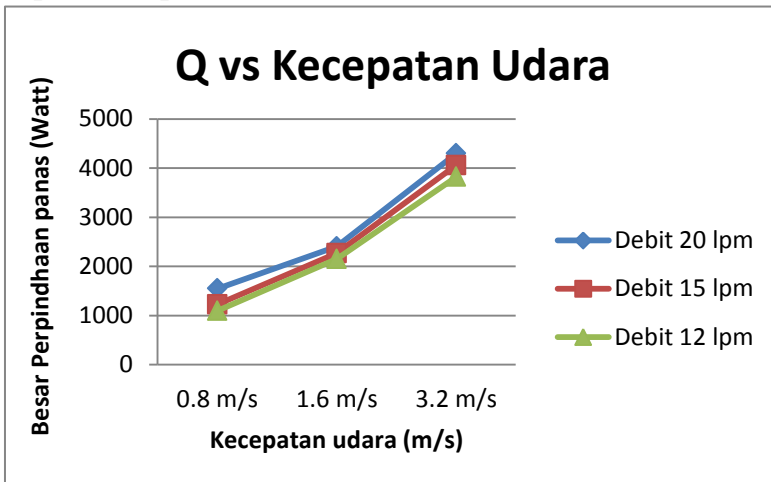
Gambar 4.4 Pengaruh kecepatan udara terhadap perbedaan temperature udara

Perbedaan temperature udara dipengaruhi oleh kecepatan fluida yang memberikan pendinginan terhadap *tube* yang ada di *heat exchanger* tersebut. kecepatan fluida berpengaruh cukup besar sebagai akibat dari perubahan jumlah aliran massa fluida dingin atau udara seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.3

Grafik diatas menunjukkan bahwa perbedaan temperature sisi udara memiliki kecenderungan untuk turun. Pada debit terendah dengan kecepatan terendah memiliki nilai perbedaan temperature yang tinggi hingga mengalami penurunan pada kecepatan tertinggi atau 3.2 m/s.

Pada saat kecepatan udara tinggi, temperature keluaran udara akan lebih kecil dibanding pada saat kecepatan udara yang rendah, hal ini dikarenakan kecepatan udara yang tinggi tersebut menyerap panas dari sisi fluida panas dalam hal ini oli yang mengalir pada *tube* sangat sedikit. Namun untuk kecepatan udara yang rendah, temperatur keluaran udara akan lebih menyerap panas atau terpanasi oleh oli panas.

4.4.3 Analisa pengaruh kecepatan terhadap Laju perpindahan panas



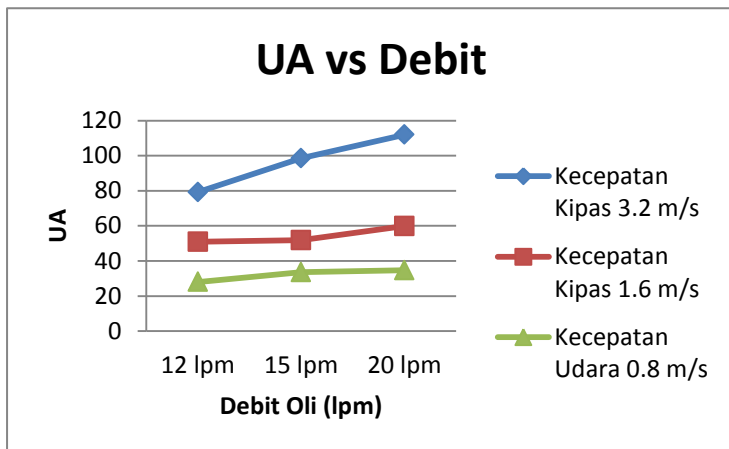
Gambar 4.5 Pengaruh kecepatan udara terhadap laju perpindahan panas udara

Laju perpindahan panas dari suatu fluida dapat dipengaruhi oleh debit, kalor spesifik dan perbedaan temperature pada fluida tersebut. Semakin besar debit maka semakin besar pula Q yang dihasilkan.

Grafik diatas menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan udara memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap karakteristik aliran udara yang melewati susunan tube. Pada variasi debit tertinggi dengan kecepatan tertinggi menghasilkan besar perpindahan panas yang paling tinggi. Ini dikarenakan adanya pengaruh dari debit aliran udara. Untuk kecepatan udara konstan dengan dan debit air panas dinaikkan maka laju perpindahan panas pun akan meningkat.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan udara maka semakin besar laju perpindahan panas. Hal ini sesuai dengan teori yakni dimana Q atau laju perpindahan panas itu berbanding lurus dengan peningkatan debit, kalor spesifik dan perbedaan temperatur.

4.4.4 Analisa Pengaruh Setiap Variasi Terhadap *Overall Heat Transfer*



Gambar 4.6 Grafik *Overall Heat Transfer* pada Setiap Variasi.

Overall Heat Transfer adalah besar perpindahan panas yang terjadi berbanding dengan besar perpindahan panas maksimum yang mungkin dapat terjadi. Besar *Overall Heat Transfer* dari sebuah alat penukar panas dipengaruhi oleh kerja aliran yang beroperasi. Besar *Overall Heat Transfer* dapat dicari dengan persamaan 2.10. Gambar 4.3 menunjukkan semakin besar laju aliran maka nilai *overall heat transfer* semakin besar.

Persamaan 2.11 menunjukkan bahwa *Overall Heat Transfer* dipengaruhi oleh besarnya koefisien konveksi. Pada gambar 4.5 *Overall Heat Transfer* terbesar yang terjadi ada pada variasi A yaitu dengan besar debit oli 20 l/menit dan kecepatan udara 3,2 m/s. Variasi A merupakan variasi dengan kerja aliran terbesar sehingga pada variasi didapatkan nilai *Overall Heat Transfer* yang besar. *Overall Heat Transfer* terkecil berada pada variasi I dengan variasi debit oli 12 l/m dan kecepatan udara rata-rata 0,4 m/s. Koefisien konveksi sendiri dipengaruhi oleh nilai *Reynolds number*.

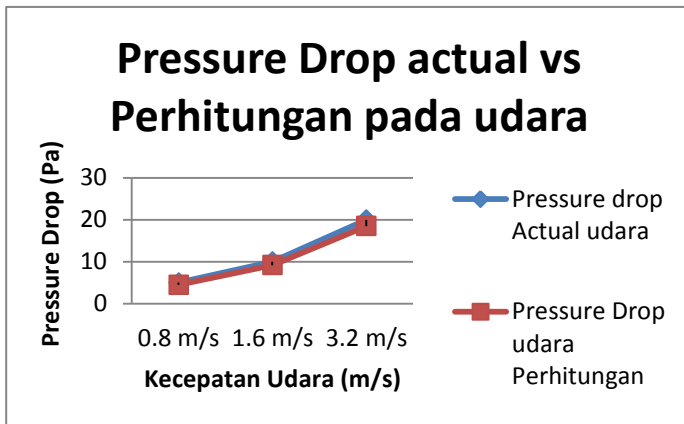
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran panas dan dingin maka semakin besar nilai *overall heat transfer* yang didapatkan. Hal ini sesuai dengan teori yaitu naiknya nilai *overall heat transfer* diakibatkan nilai koefisien konveksi aliran fluida yang semakin besar.

4.4.5 Analisa Perbandingan Nilai Pressure Drop Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Udara

Pada gambar 4.7 besar *pressure drop* yang terjadi pada setiap variasi meningkat seiring dengan bertambahnya nilai kecepatan udara. Terdapat selisih nilai *pressure drop* antara hasil eksperimen dengan perhitungan pada setiap variasi yang tidak signifikan.

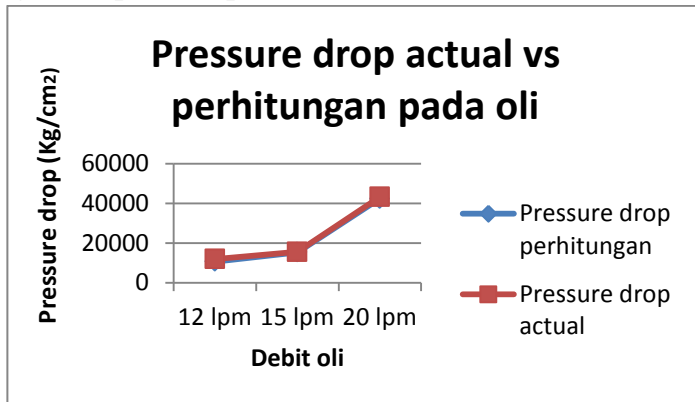
Pressure drop pada aliran udara terjadi karena akibat adanya gesekan aliran dengan dinding penampang aliran dan perubahan luas penampang aliran secara tiba-tiba. Sesuai dengan persamaan 2.2 Semakin besar kecepatan massa aliran udara maka semakin besar juga gesekan dan tumbukan yang terjadi pada aliran tersebut sehingga menghasilkan *pressure drop* yang besar. Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa nilai kecepatan udara, rasio *free flow area* dengan *frontal area*, dan koefisien gesek sangat berpengaruh pada nilai *pressure drop*.

Gambar 4.6 kedua hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan udara maka semakin besar juga nilai *pressure drop*. Hal ini terjadi karena besar *pressure drop* sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Perbedaan nilai besar *pressure drop* eksperimen yang lebih tinggi dari perhitungan dikarenakan kebocoran yang tidak terdeteksi atau kekasaran pada sambungan *duct* aliran udara. Sedangkan pada kecepatan udara 0,8 m/s mempunyai nilai yang relatif sama dengan perhitungan dikarenakan aliran udara yang cenderung tenang dan tidak terdapat turbulensi aliran.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Pressure Drop Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Udara

4.4.6 Analisa Perbandingan Pressure Drop Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Oli



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Pressure Drop Perhitungan dengan Eksperimen pada Aliran Oli

Pada gambar 4.7 besar *pressure drop* yang terjadi pada setiap variasi meningkat seiring dengan bertambahnya nilai debit oli. Terdapat selisih nilai *pressure drop* antara hasil eksperimen dengan perhitungan pada setiap variasi yang tidak signifikan. *Pressure drop* pada aliran oli terjadi karena akibat adanya gesekan aliran dengan dinding penampang aliran, perubahan luas penampang aliran secara tiba-tiba, dan perubahan arah aliran. Pada gambar 4.7 besar *pressure drop* yang terjadi ada pada variasi debit oli terbesar.

Persamaan 2.4 menunjukkan semakin besar kecepatan massa aliran oli maka semakin besar juga gesekan dan tumbukan yang terjadi pada aliran tersebut sehingga menghasilkan *pressure drop* yang besar. *Trendline* yang terjadi antara besar *pressure drop* eksperimen dan perhitungan tidak mempunyai perbedaan

terlalu tinggi. Besar *pressure drop* eksperimen lebih tinggi dari perhitungan dikarenakan perubahan penampang aliran secara tiba-tiba dan kekasaran pada sambungan pipa aliran oli.

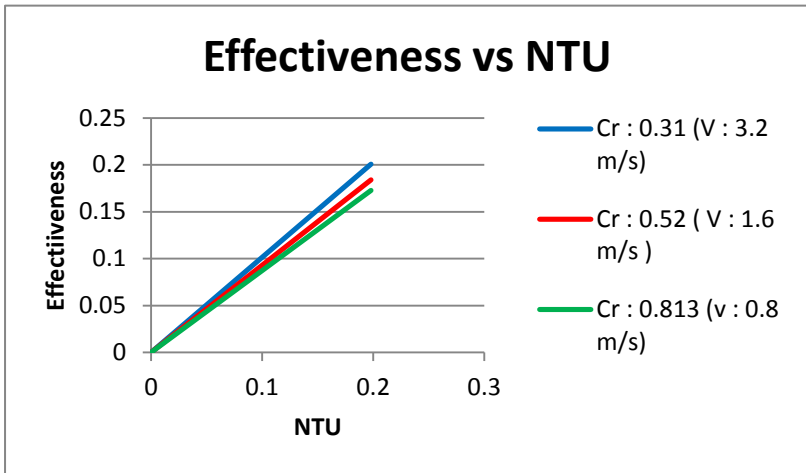
Hasil yang didapatkan antara perhitungan dan eksperimen memiliki trendline yang cenderung sama. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan massa aliran oli berpengaruh besar terhadap nilai *pressure drop*. Adanya perbedaan antara hasil perhitungan dengan eksperimen dikarenakan nilai koefisien gesek pada perhitungan tidak sama dengan nilai koefisien gesek yang terjadi.

4.4.7 Analisa *Effectiveness* terhadap fungsi Number of Transfer Unit dan Capacity Ratio.

Effectiveness merupakan salah satu parameter penting untuk unjuk kerja alat penukar panas, *effectiveness* didefinisikan dengan laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas maksimal. Perpindahan panas aktual adalah laju perpindahan panas fluida panas yang mengalir didalam *tube* berpindah ke udara sebagai fluida pendingin. Sedangkan perpindahan panas maksimal adalah kemampuan maksimal suatu *heat exchanger* untuk menerima beban panas. Pada gambar 4.8 grafik diatas terlihat bahwa *trendline* dari *effectiveness* semakin menurun seiring dengan bertambahnya nilai *capacity ratio* pada nilai *number of unit transfer* yang sama.

Peningkatan harga *effectiveness* sebuah *heat exchanger* dapat ditinjau dari *capacity ratio* (Cr) dan *number of unit transfer* (NTU). *Capacity ratio* adalah perbandingan antara kapasitas minimum (fluida udara) dengan kapasitas panas maksimum (fluida oli). Gambar 4.6 menunjukkan nilai *effectiveness* menurun seiring dengan bertambahnya nilai *capacity ratio*. Hal ini terlihat

pada gambar 2.61 terlihat juga nilai *effectiveness* menurun seiring bertambahnya nilai Cr.



Gambar 4.9 Grafik *Effectiveness* berbanding nilai *Capacity Ratio* dan *Number of Unit Transfer*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil rancang bangun alat praktikum didapat beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Spesifikasi Wind Tunnel yang digunakan :

- Bentuk *Nozzle* : Mouthbell
 - Material (*Nozzle*) : Aluminium
 - Material (*Test Chamber*) : Akrilik
 - Dimensi (*Nozzle*) :
 - o Luas permukaan masuk : 0,5625 m²
 - o Luas permukaan keluar : 0,25 m²
 - o Panjang : 0,75 m
 - Dimensi (*Test Chamber*) :
 - o Panjang : 1,2 m
 - o Lebar : 0,5 m
 - o Tinggi : 0,5 m
 - *Honeycomb*
 - o Panjang penyusun *honeycomb* : 0,065 m
 - o Diameter hidrolik penyusun *honeycomb* : 0,01 m
- $$\frac{L_{hc}}{D_{hc}} = \frac{0,065}{0,01} = 0,65$$

2. Perangkat data akuisisi suhu menggunakan arduino dan 24 buah termokopel tipe K sebagai sensor suhu
3. Perangkat uji dapat digunakan untuk mengamati besar perpindahan panas, penurunANN tekanan aliran udara, dan penurunan tekanan aliran oli pada *compact heat exchanger*

Dari hasil pengujian perangkat uji pada compact heat exchanger tipe tube-banks didapat beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Hasil pengujian *compact heat exchanger* didapatkan nilai perpindahan panas terbesar pada tipe *tube bank staggered* terjadi pada variasi 3.2 m/s dan debit 20 lpm yakni 4,29 KW
2. Hasil analisis performa *compact heat exchanger* didapatkan Nilai *Overall heat transfer* tipe *tube bank staggered* terjadi pada variasi 3.2 m/s dan debit 20 lpm yakni 111.13 W/K
3. Hasil pengujian *pressure drop* aliran oli terdapat perbedaan dengan hasil perhitungan sebesar 4,3 kPa – 1,1 kPa.
4. Hasil pengujian *pressure drop* aliran udara terdapat perbedaan dengan hasil perhitungan sebesar 20 Pa – 18,5 Pa
5. Nilai *Effectiveness* terbesar di *compact heat exchanger* tipe *tube bank staggered* terjadi pada variasi 3.2 m/s dan debit 20 lpm yakni 19%

5.2 Saran

Beberapa hal yang ingin penulis sampaikan guna kesempurnaan penelitian ini antara lain:

1. Sebaiknya titik pengambilan data suhu udara dan permukaan *tube* ditambah agar hasil analisis lebih akurat.
2. Besar simpangan harus dievaluasi dalam jangka waktu tertentu.
3. Perlu ditambahkan daya pemanas oli agar waktu pemanasan oli lebih cepat.
4. Sebelum pengujian cek pembacaan termokopel untuk suhu *tube* sebelum dialiri fluida panas.
5. Pada saat ingin melakukan pengujian alat harus dipersiapkan dengan sebaik-baiknya.

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, Frank P. and Dewitt, David P. 1981. *"Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition"*. John Wiley & Sons. Inc.
- [2] Kakac, Sadic and Hongtan Liu. 2004. *"Heat Exchanger : Desain, Selection and Thermal Design"*. Washington, D.C: CRC Press
- [3] Kays, W. M. and London, A. L. 1964. *Compact Heat Exchanger*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- [4] Mariam, Siti. 2013. Kalibrasi termokopel tipe-K pada bagian uji heating-03 menggunakan cDAQ-9188.
- [5] D. Perira, Justin. 2011. *"Wind Tunnels : Aerodynamics, Model and Experiments"*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- [6] Lawrence Berkeley National Laboratory. 2003. *improving compressed air system performance: a source book for industry*. Washington, DC. U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy.
- [7] Rachmad, setiawan. 2008. Teknik Akuisisi Data, Graha Ilmu. Yogyakarta
- [8] http://www.omega.com/pptst/IRCO_CHAL_P13R_P10R.html
- [9] <http://wagedengineer.blogspot.co.id/2012/05/metoda-inspeksi-heat-exchanger.html>

LAMPIRAN A

Kecepatan Udara	:0,8 m/s
Debit Oli	: 12 lpm
Tekanan Masuk Aliran Oli kg/cm ²	: 0,82
Tekanan Keluar Aliran Oli kg/cm ²	: 0,58
Perbedaan Tekanan Udara Masuk dan Keluar	: 5,3 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	77
2	500	76.75
3	1000	76.5
4	1500	74.5
5	2000	74.25
6	2500	74
7	3000	74
8	3500	74
9	4000	74.25
10	4500	74
11	5000	73.5
	0	77
12	500	76
13	1000	75.75
14	1500	77.25
15	2000	73
16	2500	73
17	3000	71
18	3500	73
19	4000	73
20	4500	72.5
21	5000	73

T air in	28,71
air out	39
air out	40

Kecepatan Udara : 0,8 m/s
 Debit Oli : 15 lpm
 Tekanan Masuk Aliran Oli : 0,98 kg/cm²
 Tekanan Keluar Aliran Oli : 0,66 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Udara Masuk dan Keluar : 5,3 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	78
2	500	77
3	1000	76
4	1500	74.5
5	2000	74.25
6	2500	74
7	3000	74
8	3500	74
9	4000	74.25
10	4500	73.75
11	5000	73.5
	0	77
12	500	76
13	1000	75.75
14	1500	75.5
15	2000	75.25
16	2500	74.75
17	3000	74.75
18	3500	74.5
19	4000	74.25
20	4500	74
21	5000	74

T air in	30,00
air out	40
air out	40,25

Kecepatan Udara : 0,8 m/s
 Debit Oli : 20 lpm
 Tekanan Statis Masuk Aliran Oli : 1,3 kg/cm²
 Tekanan Statis Keluar Aliran Oli : 0,89 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Statis Udara Masuk dan Keluar : 5,3 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	78
2	500	76.25
3	1000	76
4	1500	76
5	2000	75.25
6	2500	75
7	3000	75
8	3500	74.75
9	4000	74
10	4500	74
11	5000	74.5
	0	78
12	500	77.5
13	1000	77.25
14	1500	76.25
15	2000	76
16	2500	75.75
17	3000	75.75
18	3500	75.25
19	4000	74.5
20	4500	74
21	5000	74

T air in	30,00
air out	40
air out	40

Activat
 Go to PC

Kecepatan Udara : 1,6 m/s
 Debit Oli : 12 lpm
 Tekanan Masuk Aliran Oli : 0,82 kg/cm²
 Tekanan Keluar Aliran Oli : 0,59 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Statis Udara Masuk dan Keluar: 10,5 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	78
2	500	76.75
3	1000	76.55
4	1500	76.25
5	2000	74.25
6	2500	74
7	3000	74
8	3500	74
9	4000	74.25
10	4500	73
11	5000	73
	0	78
12	500	76
13	1000	75.75
14	1500	75.75
15	2000	74
16	2500	73
17	3000	71
18	3500	73
19	4000	73
20	4500	73
21	5000	72

T air in	28,50
air out	38
air out	38

Kecepatan Udara : 1,6 m/s
 Debit Oli : 15 lpm
 Tekanan Statis Masuk Aliran Oli : 0,99 kg/cm²
 Tekanan Statis Keluar Aliran Oli : 0,69 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Statis Udara Masuk dan Keluar: 10,5 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	78
2	500	75
3	1000	74
4	1500	73.75
5	2000	73.75
6	2500	73
7	3000	73
8	3500	73
9	4000	73.25
10	4500	73
11	5000	73
	0	77
12	500	76
13	1000	75.75
14	1500	75.5
15	2000	75.25
16	2500	74
17	3000	74.25
18	3500	74
19	4000	73
20	4500	73
21	5000	72

T air in	29,00
air out	38
air out	38.5

Activ
 Go to F

Kecepatan Udara : 1,6 m/s
 Debit Oli : 20 lpm
 Tekanan Statis Masuk Aliran Oli : 1,32 kg/cm²
 Tekanan Statis Keluar Aliran Oli : 0,92 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Statis Udara Masuk dan Keluar: 10.5 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	78
2	500	75.75
3	1000	75.5
4	1500	75.25
5	2000	75.25
6	2500	75.25
7	3000	75
8	3500	75
9	4000	74.5
10	4500	74.5
11	5000	72
	0	78
12	500	76.5
13	1000	75.75
14	1500	75.5
15	2000	74.5
16	2500	74.5
17	3000	74.25
18	3500	74
19	4000	73.5
20	4500	73
21	5000	72.5

T air in	30
air out	38
air out	39

Kecepatan Udara : 3,2 m/s
 Debit Oli : 12 lpm
 Tekanan Masuk Aliran Oli : 0,82 kg/cm²
 Tekanan Keluar Aliran Oli : 0,62 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Statis Udara Masuk dan Keluar: 18,5 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	78
2	500	76.5
3	1000	74.5
4	1500	74
5	2000	74
6	2500	73.75
7	3000	73
8	3500	72
9	4000	71.5
10	4500	71
11	5000	69
	0	78
12	500	77
13	1000	76.75
14	1500	76.25
15	2000	75
16	2500	74
17	3000	74.75
18	3500	74
19	4000	73
20	4500	72.5
21	5000	68

T air in	28,00
air out	37,45
air out	37

Kecepatan Udara : 3,2 m/s
 Debit Oli : 15 lpm
 Tekanan Statis Masuk Aliran Oli : 1,1 kg/cm²
 Tekanan Statis Keluar Aliran Oli : 0,8 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Statis Udara Masuk dan Keluar: 18,5 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	77
2	500	75.
3	1000	73.75
4	1500	73.25
5	2000	73
6	2500	73
7	3000	72
8	3500	71.75
9	4000	71.5
10	4500	71
11	5000	70.5
	0	77
12	500	76
13	1000	75.75
14	1500	75.25
15	2000	74
16	2500	73
17	3000	72
18	3500	72.5
19	4000	72.25
20	4500	72
21	5000	71.5

T air in	28,00
air out	37
air out	36.5

Kecepatan Udara : 3,2 m/s
 Debit Oli : 20 lpm
 Tekanan Masuk Aliran Oli : 1,2 kg/cm²
 Tekanan Keluar Aliran Oli : 0,8 kg/cm²
 Perbedaan Tekanan Udara Masuk dan Keluar : 18,5 Pa

Nomor Termokopel	Jarak dari header inlet (mm)	Pengambilan data (°C)
1	0	78
2	500	76
3	1000	74.75
4	1500	73
5	2000	72.75
6	2500	73
7	3000	72.5
8	3500	72.25
9	4000	71.75
10	4500	71.25
11	5000	70.5
12	0	78
13	500	74.25
14	1000	74
15	1500	73.55
16	2000	73.55
17	2500	72.75
18	3000	72.55
19	3500	72
20	4000	72
21	4500	71
22	5000	70

T air in	28,00
air out	36
air out	36

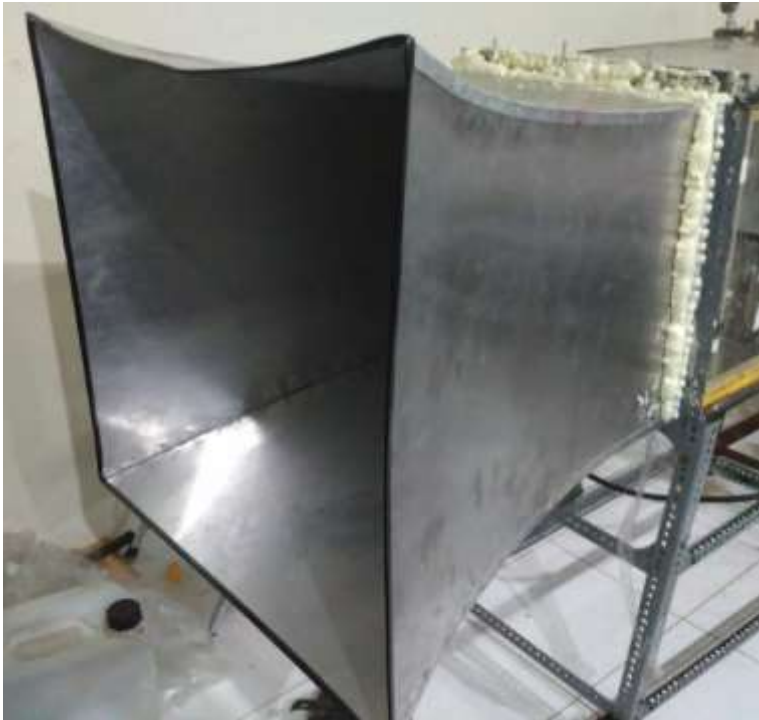
LAMPIRAN B
FOTO PERANGKAT UJI



Gambar perangkat praktikum



Gambar *Compact heat exchanger tipe tube-banks*



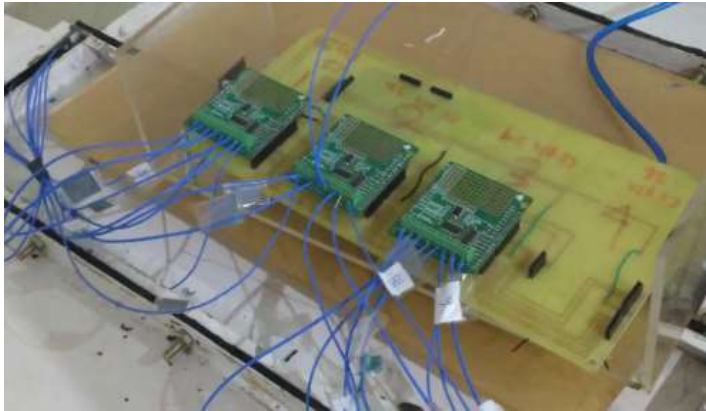
Gambar Nozzle inlet windtunnel



Gambar honeycomb inlet windtunnel



Gambar *induced fan* merk EBM



Gambar perangkat data akuisisi dengan arduino.



Gambar *control box* perangkat uji

Proses Penempelan Termokopel ke Permukaan Tube





Coding Arduino



```
test_thermo1 - Arduino 1.6.7
File Edit Sketch Tools Help

test_thermo1

#include <SPI.h>
#include "Adafruit_MAX31855.h"

//cs1
int a0=41;
int a1=38;
int a2=37;
int a3=35;
int cs1=33; //chip select mcs1
int q0=31;
int qk=29;
int cs2=32; //chip select mcs2
int qk3=34; //chip select mcs3

Adafruit_MAX31855 thermocouple1(sck,cs1,a0);
Adafruit_MAX31855 thermocouple2(sck,cs2,a0);
Adafruit_MAX31855 thermocouple3(sck,cs3,a0);
#ifdef ARDUINO_ARCH_ZERO
  // for Zero, output on USB Serial console, remove line below if using programming port to program the Zero!
  // #define Serial SerialUSB
#else
  #define Serial SerialUSB
#endif

void loop()
{
  Serial.print("Internal Temp1 = ");
  Serial.print(thermocouple1.readInternal());

  float c = thermocouple1.cca(Celsius);
```

```

float c = thermocouple1.readCelsius();
    if (isnan(c)) {
        Serial.print("Multiplex1 = ");
        Serial.println("Something wrong with thermocouple1!");
    } else {
        Serial.print("Multiplex1 = ");
        Serial.println(c);
        //delay ();
    }
}

void baca_suhu2()
{
    Serial.print("Internal Temp2 = ");
    Serial.print(thermocouple2.readInternal());

    float c = thermocouple2.readCelsius();

    if (isnan(c)) {
        Serial.print("Multiplex2 = ");
        Serial.println("Something wrong with thermocouple2!");
    } else {
        Serial.print("Multiplex2 = ");
        Serial.println(c);
        //delay (2000);
    }
}

```

```
void baca_suhu3()
{
    Serial.print("Internal Temp 3 = ");
    Serial.print(thermocouple3.readInternal());

    float c = thermocouple3.readCelsius();
    if (isnan(c))
    {
        Serial.print("Multiplex3 = ");
        Serial.println("Something wrong with thermocouple3!");
    } else {
        Serial.print("Multiplex3 = ");
        Serial.println(c);
        //Serial.print("F = ");
        //Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());
        //delay(2000);
    }
}

void setup() {
    #ifndef ESP8266
        while (!Serial);    // will pause Zero, Leonardo, etc until serial console
    #endif
    pinMode(a0, OUTPUT);
    pinMode(a1, OUTPUT);
    pinMode(a2, OUTPUT);
    pinMode(en, OUTPUT);
}
```

```
pinMode(a0,OUTPUT);
pinMode(a1,OUTPUT);
pinMode(a2,OUTPUT);
pinMode(en,OUTPUT);
pinMode(cs1,OUTPUT);
pinMode(cs2,OUTPUT);
pinMode(cs3,OUTPUT);
//pinMode(a0x,OUTPUT);
//pinMode(a1x,OUTPUT);
//pinMode(a2x,OUTPUT);
//pinMode(enx,OUTPUT);
Serial.begin(115200);
Serial.println("MAX31855 test");
// wait for MAX chip to stabilize
delay(500);
// put your setup code here, to run once:
digitalWrite(en,LOW);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,LOW);
digitalWrite(cs1,HIGH);
digitalWrite(cs2,HIGH);
digitalWrite(cs3,HIGH);
//digitalWrite(enx,LOW);
//digitalWrite(a0x,LOW);
//digitalWrite(a1x,LOW);
//digitalWrite(a2x,LOW);
```

1

```
void loop() {  
  
    {  
        digitalWrite(cs1,LOW); //MUX 1 yang dibaca  
        digitalWrite(cs2,HIGH);  
        digitalWrite(cs3,HIGH);  
  
        //ch 1  
        digitalWrite(en,HIGH);  
        digitalWrite(a0,LOW);  
        digitalWrite(a1,LOW);  
        digitalWrite(a2,LOW);  
        baca_suhu1();  
        //ch2  
        digitalWrite(en,HIGH);  
        digitalWrite(a0,HIGH);  
        digitalWrite(a1,LOW);  
        digitalWrite(a2,LOW);  
        baca_suhu1();  
        //ch3  
        digitalWrite(en,HIGH);  
        digitalWrite(a0,LOW);  
        digitalWrite(a1,HIGH);  
        digitalWrite(a2,LOW);  
        baca_suhu1();  
    }  
}
```

```
//ch4
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu1();
//ch5
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu1();
//ch6
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu1();
//ch7
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu1();
//ch8
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
```

```
//ch8
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu1();
    delay (300);

digitalWrite(cs1,HIGH);
digitalWrite(cs2,LOW); //MUX 2 yang dibaca
digitalWrite(cs3,HIGH);
//ch 1
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu2();
delay (200);
//ch2
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu2();
delay (200);
//ch3
```

```
//ch3

digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu2();
//ch4
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu2();
//ch5
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu2();
//ch6
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu2();
//ch7
```



```
//ch7
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu2();
//ch8
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu2();
delay(300);
}
{
digitalWrite(cs1,HIGH);
digitalWrite(cs2,HIGH);
digitalWrite(cs3,LOW); //MUX 3 yang dibaca

//ch 1
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu3();
//ch2
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
```

```
//ch2
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu3();
//ch3
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu3();
//ch4
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,LOW);
baca_suhu3();
//ch5
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu3();
//ch6
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
```

```
//ch6
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,LOW);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu3();
//ch7
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,LOW);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu3();
//ch8
digitalWrite(en,HIGH);
digitalWrite(a0,HIGH);
digitalWrite(a1,HIGH);
digitalWrite(a2,HIGH);
baca_suhu3();
delay (300);

}

}
//Selesai
```

LAMPIRAN C

Langkah langkah praktikum :

- Tahap persiapan :
 1. Pasang Heat Exchanger device dengan susunan sebagai berikut : Wind tunnel – Heat Exchanger – induced fan



2. Sambungkan kabel panel box ke sumber daya
3. Nyalakan Kipas angin untuk mengecek kebocoran pada celah – celah susunan alat praktikum



4. Pasang termokople pada Arduino sesuai urutan

5. Sambungkan perangkat Arduino ke Komputer yang sudah terinstal Software Arduino



- Tahap Pengambilan data
 1. Nyalakan Pompa Oli
 2. Nyalakan Heater untuk memanaskan Oli hingga suhu 80°C



3. Setelah mencapai suhu 80°C , Nyalakan kipas angin atur kecepatan udara dengan mengatur putaran inverter.
4. Atur debit dengan memutar katup Bypass.
5. Gunakan variasi data sebagai berikut :
 1. $V_{\text{udara}} = 0,4$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 12$
 2. $V_{\text{udara}} = 0,4$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 15$
 3. $V_{\text{udara}} = 0,4$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 20$
 4. $V_{\text{udara}} = 0,8$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 12$
 5. $V_{\text{udara}} = 0,8$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 15$
 6. $V_{\text{udara}} = 0,8$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 20$
 7. $V_{\text{udara}} = 1,6$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 12$
 8. $V_{\text{udara}} = 1,6$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 15$
 9. $V_{\text{udara}} = 1,6$ dengan $\dot{m}_{\text{oli}} = 20$
6. Catat data suhu yang keluar di perangkat Arduino.
7. Catat P_{inlet} dan P_{outlet} oli pada heat exchanger dan penurunan tekanan udara.
8. Salin data suhu yang terbaca pada arduino ke dalam software microsoft excel.
9. Matikan Pompa dan Kipas angin setelah pengambilan data di variasi 1
10. Ulangi langkah pertama hingga variasi A-I
11. Setelah pengambilan data selesai, Matikan kipas, pompa dan heater.

Evaluasi Perhitungan :

1. Perhitungan dilakukan sesuai dengan flowchart perhitungan pada BAB III
2. Hasil Perhitungan harus dievaluasi setiap jangka waktu 6 bulan untuk mengetahui performa dari perangkat praktikum.
3. Besar simpangan hasil perhitungan dengan pengujian harus dikoreksi, dan dilakukan peremajaan dan perbaikan untuk mengurangi besar simpangan.
4. Perangkat data akuisisi harus dikalibrasi dalam jangka waktu tertentu untuk menghindari kesalahan pembacaan.

Kendala Data Akuisisi :

1. Pastikan rangkaian data akuisisi tidak salah
2. Pastikan delay Pembacaan setiap termokopel sama
3. Pastikan tidak ada termokopel yang patah
4. Pastikan termokopel dan KTA-259 K tersambung dengan baik
5. Jika pembacaan termokopel masih error, pastikan tidak ada aliran listrik yang mengalir pada rangkaian.
6. Gunakan termokopel lain untuk memastikan kesalahan pembacaan.

Instalasi Windtunnel :

1. Pastikan tidak ada kebocoran pada sambungan windtunnel.

2. Jika terjadi kebocoran pada windtunnel, ganti karet pada sambungan.
3. Gunakan plastisin untuk menutup kebocoran pada windtunnel

Instalasi Pipa Saluran Oli :

1. Pastikan tidak ada kebocoran pada sambungan pipa.
2. Jika ada kebocoran pada pipa, lapisi ulir pipa dengan seal tape.

LAMPIRAN D

Kalibrasi Termokopel

Tabel Toleransi Kalibrasi Termokopel.

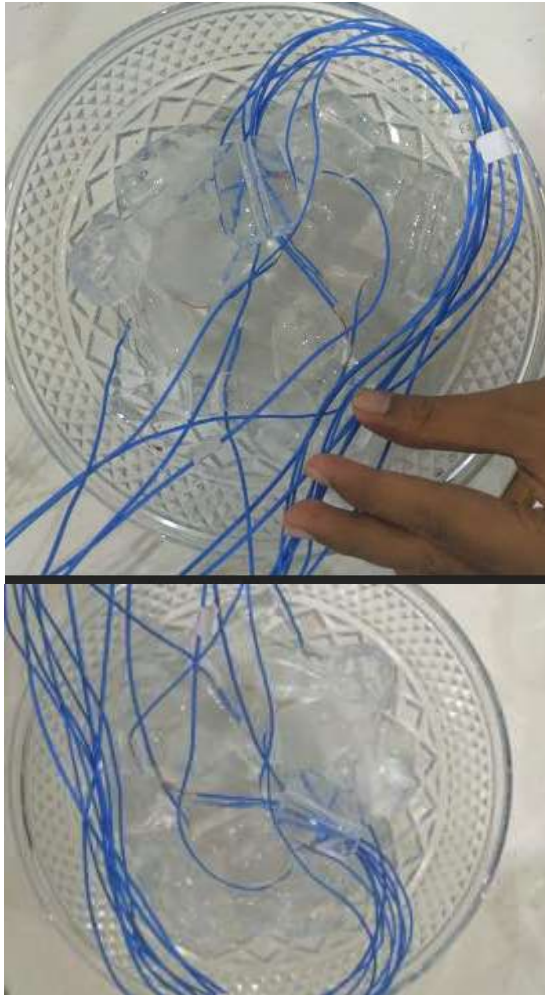
INITIAL CALIBRATION TOLERANCE Per ANSI MC96.1-1982 and ASTM E230
Reference Junction 0° C (32° F)

Thermocouple Type		Temperature Range		Standard Tolerance		Special Tolerance	
Standard	Special	°C	°F	°C (whichever is greater)	°F (whichever is greater)	°C (whichever is greater)	°F (whichever is greater)
J	JJ	0 to 750	32 to 1400	±2.2°C or ±0.75%	±4.0°F or ±0.75%	±1.1°C or ±0.4%	±2.0°F or ±0.4%
K and N	KK and NN	-200 to 0	-328 to 32	±2.2°C or ±0.5%	±4.0°F or ±0.5%		
		0 to 1200	32 to 2000	±2.2°C or ±0.75%	±4.0°F or ±0.75%	±1.1°C or ±0.4%	±2.0°F or ±0.4%
E	EE	-200 to 0	-328 to 32	±1.7°C or ±1.0%	±3.0°F or ±1.0%	±1.0°C or ±0.5%	±1.8°F or ±0.5%
		0 to 870	32 to 1600	±1.7°C or ±0.5%	±3.0°F or ±0.5%	±1.0°C or ±0.4%	±1.8°F or ±0.4%
T	TT	-200 to 0	-328 to 32	±1.0°C or ±1.5%	±1.8°F or ±1.5%	±0.8°C or ±0.8%	±0.9°F or ±0.8%
		0 to 370	32 to 700	±1.0°C or ±0.75%	±1.8°F or ±0.75%	±0.8°C or ±0.4%	±0.9°F or ±0.4%
R and S	RR and SS	0 to 1400	32 to 2700	±1.5°C or ±0.25%	±2.7°F or ±0.25%	±0.6°C or ±0.1%	±1.1°F or ±0.1%
B	BB	870 to 1700	1600 to 3100	±0.8%	0.8%	±0.05%	0.05%

Tolerances shown do not include system or installation error. Certain characteristics of thermocouple materials, including the EMF versus temperature relationship may change with time in use; consequently results and performance obtained at time of manufacture may not necessarily apply throughout an extended period of use. The magnitude of such changes will depend on such factors as size, temperature, temperature time of exposure and environment. Tolerances for temperatures below 0° C (32° F) may not fall within tolerance above zero. Temperature range should be specified when requesting thermocouples for sub-zero applications.

Data Kalibrasi 0°C

Akuisisi Data Termokopel	Suhu Termo kopel	Termometer Raksa (0°C)	deviasi
Internal Temp1 = 29.44Multiplex1 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp1 = 29.44Multiplex1 = 0.50	0,5	0	0,5
Internal Temp1 = 29.44Multiplex1 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp1 = 29.44Multiplex1 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp1 = 29.44Multiplex1 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp1 = 29.44Multiplex1 = 0.75	0,75	0	0,75
Internal Temp1 = 29.37Multiplex1 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp1 = 29.44Multiplex1 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp2 = 29.44Multiplex2 = 1.00	1	0	1
Internal Temp2 = 29.45Multiplex2 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp2 = 29.45Multiplex2 = 1.50	1,1	0	1,1
Internal Temp2 = 29.45Multiplex2 = 0.50	0,5	0	0,5
Internal Temp2 = 29.45Multiplex2 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp2 = 29.45Multiplex2 = 1.25	1,25	0	1,25
Internal Temp2 = 29.45Multiplex2 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp2 = 29.45Multiplex2 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp 3 = 29.45Multiplex3 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp 3 = 29.45Multiplex3 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp 3 = 29.45Multiplex3 = 1.25	1,25	0	1,25
Internal Temp 3 = 29.45Multiplex3 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp 3 = 29.45Multiplex3 = 1.50	1,5	0	1,5
Internal Temp 3 = 29.45Multiplex3 = 1.25	1,25	0	1,25
Internal Temp 3 = 29.45Multiplex3 = 1.25	1,25	0	1,25



Gambar Kalibrasi Termokopel

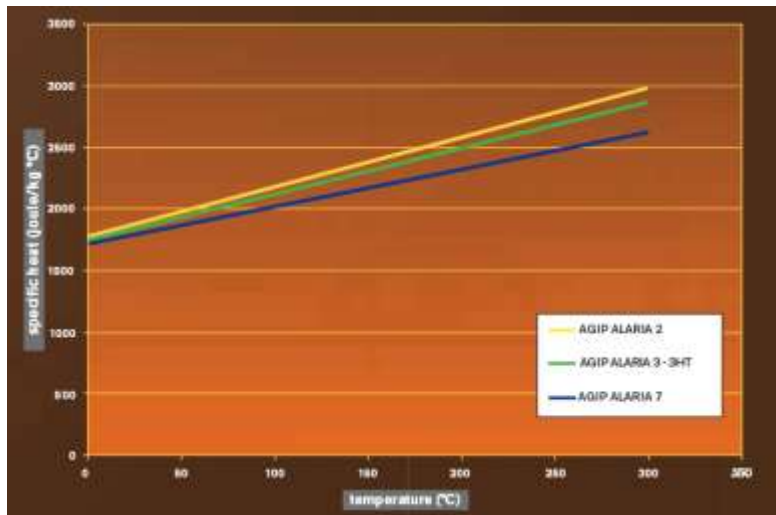


Gambar Pengujian Kebocoran

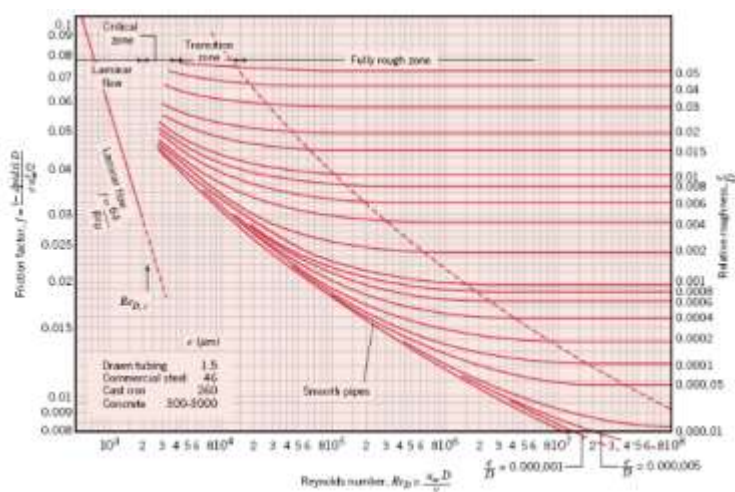
Lampiran D

Tabel spesifikasi oli Agip Alaria 3 HT

AGIP ALARIA (typical values)		2	3	3HT	7
viscosity at 40°C	mm ² /s	18	31.3	30.4	95.3
viscosity at 100°C	mm ² /s	3.3	5.3	5.3	10.9
viscosity index	-	105	103	107	97
flash point BM	°C	194	206	218	230
flash point c.c.p.	°C	210	216	230	252
pour point	°C	-12	0	-12	9
neutralization number	mg KOH/g	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.03
corrosion carbon residue	%p	0.01	0.019	0.019	0.097
copper corrosion (2h at 150°C)	-	1	1	1	1
distortion coefficient	m ² /°C	0.00087	0.00088	0.00088	0.00084
volume mass	kg/m ³	856	870	860	889



Gambar grafik specific heat oli Agip Alaria 3-HT



Gambar Moody diagram.■

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Gresik pada tanggal 23 Maret 1992. Anak ketiga dari tiga bersaudara. Menempuh Sekolah Dasar di SDNU 1 Trate kabupaten Gresik kemudian melanjutkan sekolah di SMPN 3 Gresik. Tahun 2007 melanjutkan di SMAN 1 Manyar Gresik dan lulus SMA tahun 2010. Pada tahun 2010 mengambil kuliah di Jurusan Teknik Mesin-ITS. Saat kuliah di Teknik Mesin ITS penulis banyak aktif di Kegiatan futsal jurusan teknik mesin maupun Institut. Penulis pernah menjabat sebagai pelatih kepala futsal jurusan teknik Mesin ITS mulai periode 2014 – 2016. Penulis juga aktif di berbagai acara teknik Mesin seperti IEMC 2013, IEMC 2014 dsb. Penulis pernah menjabat sebagai asisten Laboratorium Perpindahan panas dan massa periode 2013 hingga 2015. Selain Itu penulis juga memiliki pengamalan kerja di bidang Manajemen pergudangan di PT PJB UP Gresik pada tahun 2012 sebagai staff gudang.

Alamat email Penulis: fuadermansyah23@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”